

Toni Salonen

TEOLLISUUSKIINTEISTÖN
ENERGIANSAÄSTÖ
Valaistus

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILEHTI

 MAMK University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 31.5.2016
Tekijä(t) Toni Salonen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma
Nimeke Teollisuuskiinteistön energiansäästö, valaistus	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä selvitettiin oikeanlainen energiatehokas Led-valaistusratkaisu korvaamaan vanhat monimetalli-syväsiteilijävalaisimet. Työ tehtiin Metsä Wood Suolahden vaneritehtaalle. Tavoitteena oli tuottaa ohjeistus tulevaisuuden Led-valaisimien valintaa ajatellen, jotta saataisiin pitkäikäinen ja energiatehokas valaistusratkaisu vastaamaan puuteollisuuden vaativia olosuhteita ja tarpeita silmällä pitäen.</p> <p>Työssä vertailtiin uusia valaisinvaihtoehtoja määrällisellä tutkimusmenetelmällä, niin ominaisuuksiltaan kuin energiatehokkuudeltaan. Vertailtavat valaisinmallit on valittu yhteistyössä valaisinvalmistajien kanssa. Valaisimien tekniset tiedot on poimittu valaisinvalmistajien Internet-sivuilta ja katalogeista.</p> <p>Työssä selvitettiin valaistussuunnittelun perusteita ja Led-valaistuksen elinikään ja alenemakertoimiin vaikuttavia tekijöitä. Valaistussuunnitteluosuudessa on kerrottu DIALux-ohjelman huolto- ja heijastuskertomien vaikutuksesta teoriassa ja testien avulla.</p> <p>Tehdashalliin uudistetaan samalla myös valaistuksen ohjaus nykyaikaisin ratkaisuin. Kohteeseen tullaan toteuttamaan Dali-ohjausjärjestelmä sen soveltuvuuden ja laajennettavuuden johdosta. Tulevaisuudessa tällä saadaan aikaan isoja säästöjä energiankulutuksessa verrattuna vanhaan valaisinmalliin ja valaistuksen ohjaukseen.</p> <p>Työn tulosten perusteella päädyin ehdottamaan Metsä Wood Suolahden vaneritehtaalle uudeksi valaisinmalliksi yhden vertailluista Led-valaisinmalleista. Työssä myös pohditaan tarkemmin Dali-järjestelmää ja sen toteutusta kohteeseen.</p>	
Asiasanat (avainsanat) Valaistus, energiansäästö, Led-valaistus, monimetallivalaisin, puuteollisuus, teollisuus, valaistuksen ohjaus, Dali, DIALux, kustannuslaskenta	
Sivumäärä 42+2	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä) 	
Ohjaavan opettajan nimi Arto Kohvakka	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mika Häkkinen, Metsä Wood Suolahti.

DESCRIPTION

 MAMK University of Applied Sciences	Date of the bachelor's thesis 31.5.2016
Author(s) Toni Salonen	Degree programme and option Electrical engineering
Name of the bachelor's thesis Industrial energy efficiency, lighting	
Abstract <p>The purpose of the thesis was to find out the right kind of energy efficient Led-lighting solution to replace old metal halide lamps. Thesis were made for Metsä Wood Suolahti plywood mill. The thesis was defined to produce instructions for selecting Led-lamps in the future and how to get long lasting and energy efficient lighting solution to meet the demanding conditions and needs for the wood industry.</p> <p>Thesis compares in a survey by quantitative the new lamps for their features and energy efficiency. Compared lamps were chosen together with lamp manufacturers. Technical data of the lamps were gathered from the lamp manufacturers internet pages and catalogues. Thesis sorts out lighting design backgrounds and factors affecting Led lamps life span and maintenance factor. Lighting design section defines DIALux programs maintenance factor and reflection factor in theory and through testing.</p> <p>The factory hall is renewed at the same time with the modern lighting control. The lighting control is made in the future with Dali lighting control system. Dali system is easy to expand and suit for the factory needs. And energy efficiency will rise in the future much more compared to old lighting design.</p> <p>Based on the results of the thesis I decided to suggest for the new lamp model one of the compared Led lamp models. In thesis was also discussed for more specifically about Dali lighting control system and how to build it at Metsä Wood Suolahti plywood mill.</p>	
Subject headings, (keywords) Lightning, energy saving, Led-lighting, metal halide lamp, wood industry, industry, lighting control, Dali, DIALux, cost calculation	
Pages 42+2	Language Finnish
Remarks, notes on appendices 	
Tutor Mr.Arto Kohvakka	Bachelor's thesis assigned by Mr.Mika Häkkinen, Metsä Wood Suolahti.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TILAAJA	1
3	VALAISTUKSEN LAATUTEKIJÄT	2
3.1	Luminanssi L	2
3.1.1	Luminanssijakauma	3
3.2	Valaistusvoimakkuus E	3
3.2.1	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m	3
3.2.2	Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus U	4
3.3	Häikäisy Gr	4
3.4	Muodonanto	5
3.5	Väriämpötila	5
3.6	Värintoistoindeksi R_a	6
3.7	Välkyntä	7
4	DIREKTIIVIT JA MÄÄRÄYKSET	7
4.1	Standardi SFS-EN-12464-1	7
4.2	Esistandardi IEC/PAS-62717	10
5	VALAISTUKSEN ENERGIAATEHOKKUUS	10
5.1	Kansainväliset energiansäästötoimet	10
5.2	Energiatehokkuus	10
5.2.1	LENI-indeksi	12
6	LED-VALAISTUSJÄRJESTELMÄ	12
6.1	Energiahäviöt Led-valaistusjärjestelmässä	12
6.2	Led-valaisimen kytkentävirtapiikki	13
6.3	Liitântälaite	13
6.4	Suojaus	14
6.4.1	Suojaus ympäristön olosuhteilta	14
6.4.2	Käytettävien liitântälaitteiden suojalaitteet	15
6.4.3	Suojaus muilta ympäristön olosuhteilta	15
7	LED-VALAISIMEN ELINIÄN MÄÄRITELMIÄ	15
8	VALAISTUKSEN OHJAUS	16
8.1	Valaisimissa esiintyvät ohjausvaihtoehdot	17

8.1.1	Paikallisohejaus ON/OFF	17
8.1.2	0-10V	17
8.1.3	Dali-Standardi.....	17
9	DALI-JÄRJESTELMÄ	18
9.1.1	Dali-järjestelmän fyysinen asennus	18
9.1.2	Dali-väylän tehonsyöttö	19
9.1.3	Dali-järjestelmän ohjelmalliset osoite- ja ohjausratkaisut	19
9.1.4	Dali-järjestelmän muistipaikat.....	20
9.1.5	Dali-liitäntälaitteiden muistipaikat	20
10	KOHDE	21
10.1	Olosuhteet.....	21
10.2	Vanha valaistusratkaisu	21
10.2.1	Vanha valaistuksen ohjaus	22
11	TULEVAISUUDEN TAVOITE.....	23
12	SUUNNITTELU	23
12.1	Energiaa säästävä valaistussuunnittelu.....	23
12.2	Valaisimien valinta.....	23
12.3	Valaistussuunnittelu DIALux	24
12.3.1	Valaistuksen huoltokerroin	24
12.3.2	Heijastumissuhde	26
12.3.3	Huolto- ja heijastuskertoimien testaus DIALuxilla	27
12.4	Valaistuksen ohjaussuunnittelu Dali	28
13	UUDET VALAISINMALLIT JA VALAISINKOHTAISET OHJAUS VAIHTOEHDOT.....	29
13.1	Vanhojen valaisimien peruskorjaus	29
13.1.1	Ohjaus	31
13.2	i-Valo Dora+.....	31
13.2.1	Takuu	31
13.2.2	Ohjaus	32
13.3	SNEP-Linear SI	32
13.3.1	Takuu	32
13.3.2	SNEP-järjestelmän langaton valaistuksen ohjaus.....	32
13.3.3	SNEP-järjestelmän asennus kohteessa.....	33
13.4	Easyled Pro 6x Oslon	33

13.4.1 Takuu	34
13.4.2 Ohjaus	34
13.5 Greenled Sigma.....	35
13.5.1 Takuu	35
13.5.2 Ohjaus	35
14 VALAISIMIEN TEKNINEN VERTAILU.....	36
15 ENERGIAN SÄÄSTÖLASKENTA.....	37
16 KUSTANNUSVERTAILU JA TAKAISINMAKSUAIKA	37
17 TULOKSET.....	40
18 POHDINTA.....	40
LÄHTEET	42

LIITTEET

- 1 Valaisin 6242. V3 Tekniset tiedot
- 2 Painonappikotelo

1 JOHDANTO

Vanhoilla valaisimilla käyttöikä alkoi olla tehdashallissa tiensä päässä. Valaisimet ovat olleet käytössä noin 20 vuotta ja niiden valoteho alkoi olla heikko. Tästä johtuen valaisimet vaativat täydellistä peruskorjausta tai valaisinmallin uusimista kokonaan.

Tavoitteena oli saada tästä johtuen Metsä Wood Suolahden vaneritehtaalle energiansäästöä nykyaikaistamalla valaisinmalli ja valaistuksen ohjaus. Työssä päädyttiin vaihtamaan vanhat valaisimet Led-valaisimiin, koska niillä saadaan aikaan energiansäästöä, niiden hyvän ja koko ajan kehittyvän valotehokkuuden ansiosta. Myös valaistuksen ohjaus päätettiin vaihtaa Dali-järjestelmään sen monipuolisuuden vuoksi.

Työssä käsitellään valaistuksen perusteita, valaistuksen laatutekijöitä, energiatehokkuutta ja määräyksiä. Siinä keskitytään tarkemmin Led-valaistusjärjestelmään ja Dali-järjestelmään. Suunnittelu osuudessa selvitetään huolto- ja heijastuskertoimen vaikutusta DIALux-ohjelmassa. Lopuksi vertaillaan kohteeseen valittuja eri Led-valaisinmalleja ja niiden teknisiä arvoja, takaisinmaksuaikaa ja energiatehokkuutta.

2 TILAAJA

Työn tilaajana toimi Suolahdessa sijaitseva vaneritehdas, tehdas kuuluu Metsä Wood liiketoiminta-alueeseen, joka on osa Metsä Groupia. Metsä Group kattaa puun koko arvoketjun taimesta tuotteeksi. Metsä Group toimii 30 eri maassa ja tuotantoa yhtiöllä on seitsemässä maassa. Yhtiön kokonaisliikevaihto on 5.0 mrd.€ ja henkilöstöä yhteensä 9600 henkeä. (Metsä Group 2016.)

Metsä Wood tarjoaa parhaita puutuotteita rakennus-, teollisuus- ja jakeluasiakkaiden tarpeisiin. Tuotantolaitokset sijaitsevat näiden metsien keskellä, mikä takaa raaka-aineen luotettavan saannin. Tärkeimmät tuotteet ovat sahatavara, vaneri, Kerto® ja liimapu. (Metsä Wood 2015.)

Suurin Metsä Woodin vahvuus on teollinen tehokkuus, jonka mahdollistaa kumppanuus, luotettavuus ja laatu. Yritys vaatii aina enemmän sekä itseltään että kumppaneil-

taan. Metsä Woodilla on vahva asema Euroopassa ja kunnianhimoiset maailmanlaajuiset kasvutavoitteet. Liikevaihto oli 852milj.€ vuonna 2015, ja työllistää noin 2 000 henkeä. (Metsä Wood 2015.)

Metsä Wood Suolahden tehdasalue on perustettu 1920-luvulla, jolloin alueella toimi saha. Tuotanto on vuosikymmenien ja erinäisten vaiheiden jälkeen keskittynyt pelkästään vanerin valmistukseen ja sen jalostamiseen.

Suolahden tehdasalue käsittää kolme erillistä tuotantolaitosta: koivu-, havutehdas ja jatkojaloste. Nämä tuotantolaitokset toimivat yhtenäisenä kokonaisuutena ja niillä on yhteinen teollisuuden kunnossapitoyksikkö. Alueen kokonaisuuteen kuuluu myös Kumpuniemenvoiman lämpölaitos, josta Äänekosken energia omistaa osakkuuden.

3 VALAISTUKSEN LAATUTEKIJÄT

Valaistusteknisillä laatutekijöillä tarkoitetaan näkemiseen liittyviä tavoitteita sekä keinoja, joilla valon avulla luodaan ergonomisesti toimiva näköympäristö. Valoteknisiä laatutekijöitä ovat valaistusvoimakkuus, luminanssi, luminanssijakauma, häikäisy, muodonanto, värintoisto, värilämpötila ja välkyntä. (ST-kortti 58.04 2013.)

3.1 Luminanssi L

Kohteeseen osuvasta valovirrasta osa absorboituu eli imeytyy pintaan. Heijastuva osuusmäärää kohteen luminanssin. Käytännössä luminanssi ilmaisee kohdekappaleen pinnan valotiheyden eli pintakirkkauden. Näin ollen luminanssi on valaistustekniikan ainut suoranaisesti nähtävissä oleva suure ja silmä aistii vain luminanssin. Luminanssin yksikkö on kandelaa per neliömetri ($1\text{cd}/\text{m}^2$). Mitä suurempi pinnan, esimerkiksi lampun, valaisimen tai työkohteen, luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Näkökohteen ja sen ympäristön luminanssit ovat tärkeimpiä näkyvyyteen vaikuttavia tekijöitä. Hämärässä ympäristössä silmien kyky erottaa pieniä, lähekkäin olevia yksityiskohtia tai pieniä luminanssieroja kohteiden välillä on heikko. Silmä kykenee käsittelemään näkötietoa hyvin laajalla luminanssitasojen vaihtelualueella. (ST-kortti 58.04 2013.)

3.1.1 Luminanssijakauma

Luminanssijakauma näkökentässä määrää silmien sopeutumistason, joka vaikuttaa kohteen näkyvyyteen. Tavallisesti suotuisaan luminanssijakaumaan pyritään määrittelemällä valaistusvoimakkuusvaatimukset ja suositeltavat heijastuskertoimet tärkeimmille hajaheijastaville sisäpinnoille. Suuria luminanssin vaihteluita näkökentässä pyritään estämään myös vaatimuksilla valaistusvoimakkuuden tasaisuudesta. Lisäksi poikkeuksellisen kirkkaiden kohteiden näkymistä pyritään rajoittamaan esimerkiksi häikäisysuojakulmavaatimuksilla. (ST-kortti 58.04 2013.)

3.2 Valaistusvoimakkuus E

Pinnalle saapuvan valovirran tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on lm/m^2 eli luxi (lx). Vaakatason pinnan valaistusvoimakkuus on E_h ja vastaavasti pystytason pinnan valaistusvoimakkuus on E_v . (Suomen Jääkiekkoliitto Ry 2014.)

Sisävalaistuksessa käytettävät valaistusvoimakkuudet vaihtelevat yleisimmin 100...1000 lx. Valaistussuosituksissa ja standardeissa esitetään valaistuksen käytetyimpänä ja tärkeimpänä arviointikriteerinä valaistusvoimakkuutta. Valaistusta varten määritellään se valaistusvoimakkuuden tavoitetaso, joka takaa riittävät ympäristön luminanssit. (ST-kortti 58.04 2013.)

3.2.1 Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m (lx) on tarkasteltavan alueen pinnan tasolla laskettujen valaistusvoimakkuuksien aritmeettinen keskiarvo. Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden nostaminen parantaa havaitsemista, havaitsemisnopeutta, tilan ja ympäristön hahmotuskykyä sekä alueella tapahtuvan liikkeen arviointia. Lisäksi valaistuksen taso vaikuttaa yleiseen turvallisuuden tunteeseen sekä näkömukavuuteen. (Suomen Jääkiekkoliitto Ry 2014.)

3.2.2 Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus U

Yleistasaisuus U vaikuttaa näkösuorituskykyyn ja se kuvaa kuinka tasaisesti valo jakautuu tarkasteltavalla alueella. Yleistasaisuus U_o lasketaan koko alueen pienimmän E_{min} ja keskimääräisen valaistusvoimakkuuden E_m osamääränä. Yleistasaisuus U_d lasketaan koko alueen pienimmän E_{min} ja isoimman valaistusvoimakkuuden E_{max} osamääränä. (Suomen Jääkiekkoliitto Ry 2014.)

Yleistasaisuus (U_o) lasketaan kaavan 1 mukaisesti

$$U_o = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (1)$$

jossa E_{min} on alueen pienin ja E_m keskimääräinen valaistusvoimakkuus.

3.3 Häikäisy Gr

Häikäisy on yksi valaistuksen pahimmista epäkohdista. Häikäisyssä valaistus itsessään heikentää näköolosuhteita. Häikäisyn eri muotoja ovat kiusahäikäisy ja estohäikäisy. Ne voivat esiintyä myös samanaikaisesti. Näkökohteen kiiltävistä pinnoista heijastuneen valon aiheuttamaa häikäisyä kutsutaan harsoheijastumiseksi. Häikäisyä syntyy, jos ympäristön luminanssi on niin suuri, ettei silmä enää sopeudu siihen. (ST-kortti 58.04 2013.)

Yleinen valaistuksen aiheuttama häikäisyn lähde on jokin näkökentän yksittäinen luminanssi, joka on muita luminansseja paljon suurempi. Tällainen voi olla näkökentässä sijaitseva valonlähde (suorahäikäisy) tai valoa voimakkaasti heijastava pinta, jolle tulee runsaasti valoa (heijastushäikäisy). Päivänvalo on yksi merkittävä häikäisyn aiheuttaja myös sisätyötiloissa. Häikäisy vaikeuttaa yksityiskohtien havaitsemista ja aiheuttaa epämukavuutta katselijalle. (ST-kortti 58.04 2013.)

Sisätilojen kiusahäikäisyä arvioidaan tyypillisesti UGr-häikäisyindeksin (Unfield Glare rating) avulla. UGr-arvoissa suurempi arvo tarkoittaa voimakkaampaa häikäisyä. Häikäisyn suuruus riippuu valaisimien valonjaosta, valaisimien määrästä, sijainneista, ja asennuskorkeuksista sekä ympäristön luminansseista. Taulukossa 1 on esitetty häikäisyarvot ja niiden selitykset. (ST-kortti 58.04 2013.)

TAULUKKO 1. Aluevalaistuksen häikäisyarvot ja selitykset (Suomen Jääkiekkoliitto Ry 2014)

UGr	Häikäisy
90	sietämätön
70	häiritsevä
50	juuri hyväksyttävä
30	havaittavissa oleva
10	huomaamaton

3.4 Muodonanto

Valon suuntauksella voidaan korostaa kohteita ja parantaa kolmiulotteisten kohteiden näkymistä. Esineen muoto ja pintarakenne tulevat esille sopivan varjonmuodostuksen avulla. Varjot aiheuttavat luminanssieroja esineessä ja sen ympäristössä ja helpottavat siten muotojen tajuamista. Jos valo tulee tasaisesti joka suunnasta, varjoja ei synny ja muodot latistuvat. Hyvän visuaalisen viestinnän ja kohteiden tunnistamisen mahdollistavan muodonannon vuoksi sisätyötiloissa vaaditaan riittävän suurta sylinterivalaistusvoimakkuutta. (ST-kortti 58.04 2013.)

3.5 Värilämpötila

Valonlähteen värin määrittämisessä käytetään värilämpötilaa, jonka yksikkö on Kelvin (K). Värilämpötila määritellään mustan kappaleen absoluuttisena lämpötilana siten, että mustan kappaleen ja tutkittavan valonlähteen valon värilaatu vastaavat toisiaan. (Suomen Jääkiekkoliitto Ry 2014.) Taulukosta 2 nähdään eri värilämpötiloilla saavutettavat värivaikutelmat.

TAULUKKO 2. Värilämpötilat ja niitä vastaavat värivaikutelmat (Suomen Jääkiekkoliitto Ry 2014)

Värilämpötila K	Värivaikutelma
< 3300	lämmin valkoinen
$300 \leq T_{CP} \leq 5300$	valkoinen
> 5300	kylmä valkoinen

3.6 Värintoistoindeksi R_a

Lamput eivät toista kaikkia värejä luonnollisina. Värintoistoindeksi on mitta-asteikko, jolla mitataan, kuinka paljon tietyn valonlähteen keskimääräinen värintoisto poikkeaa vertailulähteen värintoistosta. (ST-kortti 58.04 2013.) Näkötehokkuuden ja näkömukavuuden kannalta on tärkeää, että ympäristön ja siinä olevien kohteiden sekä ihmisten ihon väri toistuu luonnollisena ja oikeana.

Yleisimmin käytetään yleistä värintoistoindeksiä (R_a -indeksi). R_a -indeksiä määritettäessä verrataan valonlähteen värintoistokykyä kahdeksalla erivärisellä testiväriellä vertailuvalonlähteeseen. Kaikilla alle 5000K:n lampuilla käytetään vertailulähteenä vastaavan värilämpötilan Planckin (musta kappale) säteilijää. Yli 5000 K:n lampuilla vertailu tehdään vastaavan värilämpötilan päivänvalospektriin. Poikkeamista vertailuvalonlähteeseen lasketaan neliöllinen keskiarvo. Menetelmästä johtuen yhden värin heikko toistaminen ei laske R_a -indeksiä kovinkaan paljon. Tämä on ongelmallista valonlähteillä, joiden spektrissä on teräviä piikkejä ja kuoppia, kuten Ledeillä. (ST-kortti 58.04 2013.)

Enimmäisarvo 100 vastaa täysin samanlaista värintoistoa, R_a -indeksin tulisi sisävalaistuksessa pääosin olla yli 80 ja hyvää värintoistoa edellytettäessä yli 90. Samanväristä valoa voidaan saada aikaan hyvinkin erilaisista valonlähteen säteilyvirran spektreistä. Siksi värilämpötilaltaan saman sävyisillä lampuilla saattaa olla selvästi erilaiset värintoisto-ominaisuudet. Kahdella valonlähteellä saattaa olla sama R_a -arvo, mutta erilaiset spektrit ja siten myös erilaiset värintoisto-ominaisuudet. (ST-kortti 58.04 2013.) Taulukossa 3 on esitetty värintoisto-ominaisuudet ja niitä vastaavat R_a -indeksit.

**TAULUKKO 3. Värintoisto-ominaisuudet ja niitä vastaavat värintoistoindeksit
(Suomen Jääkiekkoliitto Ry 2014)**

R_a	Värintoisto-ominaisuudet
> 90	erinomainen
$70 < R_a \leq 90$	hyvä
$50 < R_a \leq 70$	tyydyttävä
$20 \leq R_a \leq 50$	huono
< 20	olematon

3.7 Vätkyntä

Silmä aistii luminanssin tai värin pienitaajuisen vaihtelun vätkyntänä. Kun ärsykkeen muuttumistaajuus tulee riittävän suureksi, vätkyntä häviää ja valo näyttää olevan jatkuvaa. Vätkkyvä valo voi aiheuttaa pyörivien kappaleiden kanssa vaikutelman pysähtyneestä liikkeestä ja aiheuttaa tapaturmavaaran, tätä kutsutaan strobo-ilmiöksi. Vätkkyvä valo yhdessä vätkkyvän tietokonenäytön kanssa voi tuoda vätkynnän ärsytyskynnyksen alapuolelle ja rasittaa siten silmiä. Epäsuorassa valaistuksessa valon vätkyntä osuu näkökentän reuna-alueelle, jossa silmä on tavallista herkempi havaitsemaan muutoksia. Siksi epäsuorassa valaistuksessa on suositeltavaa käyttää valonlähteitä ja liitäntälaitteita, jotka poistavat vätkynnän. (ST-kortti 58.04 2013.)

4 DIREKTIIVIT JA MÄÄRÄYKSET

4.1 Standardi SFS-EN-12464-1

SFS-EN-12464-1 standardi määrittelee sisätyötilojen valaistusvaatimukset normaali näkökykyisten henkilöiden näkömukavuuden ja näkötehokkuuden tarpeista. Standardi määrittelee valaistusratkaisujen määrälliset ja laadulliset vaatimukset useimmille sisätyöpaikoille ja niihin liittyville alueille. Lisäksi annetaan suosituksia hyvistä valaistuskäytännöistä. Standardissa käsitellään kaikkia yleisimpiä näkötehtäviä. (Alpilux 2016.)

Valaistusvoimakkuuksien vähimmäisvaatimukset on annettu työalueelle sekä työalueen välittömässä läheisyydessä olevalle ympäristölle (Taulukko 4). Valaistusvoimakkuusarvojen tulee olla tilan seinillä vähintään 50 lx ja katossa vähintään 30 lx. Joissakin tiloissa kuten käytävä- ja porrastiloissa, seinien ja katon tulee olla paremmin valaistuja. Näissä tiloissa suositellaan tärkeimmillä pinnoilla ylläpidettäville valaistusvoimakkuuksille seuraavia arvoja: $E_m > 75$ lx seinillä ja $E_m > 50$ lx katossa. Tausta-alueen valaistusvoimakkuus tulee olla vähintään 1/3 välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. Tällä saadaan tilan valaistuksen luminanssijakaumaa parannettua, joka vaikuttaa positiivisesti näkömukavuuteen ja viihtyvyyteen. Valaistusvoimakkuuksien tasaisuuden tulee olla vähintään 0,40 välittömässä lähiympäristössä ja tausta-alueella vähintään 0,10. Esimerkkejä tilojen, alueiden, tehtävien ja toimintojen valaistusvaatimuksista on taulukossa 5. (Alpilux 2016.)

TAULUKKO 4. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde (Alpilux 2016)

Työalueen valaistus-voimakkuus E_{task} (lx)	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

**TAULUKKO 5. Sisävalaistusstandardin SFS-EN-12464-1 vaatimustaulukko
(Ensto 2012)**

	Tila	Työtehtävä	Em [lx]	UGRL	Ra	Huomautukset
75	Liikennealueet	Liikennealueet ja käytävät (reitillä ajoneuvoja)	150	28	40	häikäistymisen välttämiseen on kiinnitettävä huomiota
76	Liikennealueet	Portaikot, liukuportaat, kuljettimet	150	25	40	
147	Puutyö ja puunkäsittely	Automatisoidut prosessit, esim. kuivaus,	50	28	40	
148	Puutyö ja puunkäsittely	vanerin valmistus	50	28	40	
149	Puutyö ja puunkäsittely	Höyryttämöt	150	28	40	
150	Puutyö ja puunkäsittely	Saha	300	25	60	Stroboskooppi-ilmiö estettävä.
151	Puutyö ja puunkäsittely	Työskentely puuntyöstökoneilla, esim. sorvaus, uurto, höyläys, kyntteen teko, uritus, leikkaus, sahaus, jysintä	500	19	80	Stroboskooppi-ilmiö estettävä.
152	Puutyö ja puunkäsittely	Kiillotus, maalaus, erikoispuusepäntyö	750	22	80	
153	Puutyö ja puunkäsittely	Puuviilujen valikointi	750	22	90	Tcp≥4000K
154	Puutyö ja puunkäsittely	Upotustyö, upotuskoristelu	750	22	90	Tcp≥4000K
155	Puutyö ja puunkäsittely	Laaduntarkkailu, tarkastus	1000	19	90	Tcp≥4000K
277	Varastointi- ja hyllystöalueet	Käytävät, ei henkilöliikennettä	20	-	60	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla
278	Varastointi- ja hyllystöalueet	Käyttö- ja ohjauspaikat	150	22	60	
279	Varastointi- ja hyllystöalueet	Käytävät, joissa henkilöliikennettä	150	22	60	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla
280	Varastot, kylmät varastot	Varastotilat	100	25	60	
281	Varastot, kylmät varastot	Varastotilat (työskentely jatkuvaa)	200	25	60	
282	Varastot, kylmät varastot	Lähetäjä- ja käsittelyalueet	300	25	60	

4.2 Esistandardi IEC/PAS-62717

IEC/PAS-62717 on Led-valojen esistandardi. PAS (publicly available specification) määrittelee Led-moduulien yleiset suorituskyyvaatimukset. Led-teknologiasta ja valmistuksesta johtuen, voi yksittäisissä Ledeissä esiintyä vikaantumista tuotteen eliniän aikana. Useimmissa tuotteissa yhden Ledin vikaantuminen ei aiheuta käytännössä muu-
tosta tuotteen valoteknisiin ominaisuuksiin. Kansainväliset standardit asettavat +/- 10 % toleranssit valovirrälle ja ottoteholle. Värilämpötilalle sallittu toleranssi on +/- 150 Kelvinia ilmoitettuun arvoon nähden. (Alpilux 2016.)

5 VALAISTUKSEN ENERGIA TEHOKKUUS

5.1 Kansainväliset energiansäästötoimet

Euroopan unioni on antanut ohjeen jäsenmaille vetämään markkinoilta asteittain halogeeni- ja hehkulamput vuoteen 2015 mennessä energiansäästämiseksi. Syynä hehku- ja halogeenilamppujen markkinoilta poistoon oli niiden heikko valon tuotto käytettyyn energiaan nähden. Energian säästämiseksi pyritään tehokkaampiin valaistusratkaisuihin, johon Led-valaisimet tarjoavat jo nykyään hyvän vaihtoehdon.

5.2 Energiatehokkuus

Suurin osa valaistusjärjestelmän hiilijalanjäljestä syntyy käytön aikana. Ympäristönäkökulmien lisäksi energiankulutus on myös erittäin merkittävä tekijä valaisimen elinkaarikustannuksissa. Kulutuksen pienentämiseksi vaaditaan sisätyötilojen valaistusstandardissa SFS-EN-12464-1, että valaistus on suunniteltava energiatehokkaalla tavalla. (ST-kortti 58.04 2013.)

Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat (ST-kortti 58.04 2013)

- käytettävän valonlähteen energiatehokkuus
- liitäntälaitteen energiatehokkuus
- käytettävät ohjaustavat
- päivänvalon hyödyntäminen
- alenemakerroin
- valaisimen hyötysuhde.

Valaistuslaskennassa käytetään alenemakerrointa kuvaamaan valaistusjärjestelmän valontuoton laskua ajan kuluessa. Alenemakerroin lasketaan, jotta valaistusjärjestelmätäyttäisi standardien vaatimukset juuri ennen huoltoa. Käytännössä alenemakerroin johtaa valaistusjärjestelmien ylimitoitukseen elinkaaren alkupäässä, jotta määräykset täytyisivät myös juuri ennen järjestelmän huoltamista. Ylimitoituksen energiahävikkiä voidaan pienentää käyttämällä älykkäitä säätöratkaisuja, kuten vakiovalo-ohjausta. (ST-kortti 58.04 2013.)

Tärkeimpänä valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavana tekijänä on kuitenkin valaistuksen ohjaus. Huomioimalla ohjauksessa esimerkiksi päivänvalo ja läsnäolo saadaan aikaan huomattavia säästöjä energiankulutuksessa. Haasteellisinta suunnittelijalle on työalueen koon ja paikan määrittäminen. Energiatehokkain ratkaisu on suunnitella valaistus muunneltavaksi, jos työalueen kokoa ja sijaintia ei ole tiedossa. (Alpilux 2016.)

Valaisemalla oikeaa paikkaa oikeaan aikaan saadaan energiakulutusta pienennettyä. Muussa tapauksessa koko tilaan toteutettava vaadittu valaistus lisää energiankulutusta. Jokainen suunnitelma on yksilöllinen, ja vaikka valaistuksellisesti ratkaisut olisivat toimivia, energiankulutukseltaan ne voi olla hyvinkin erilaisia. Tärkeää on muistaa valaistusta suunniteltaessa, että valaistuksen laadusta ei saa tinkiä energiankulutuksen alentamiseksi. (Alpilux 2016.)

5.2.1 LENI-indeksi

Energiatohokkuuden arviointimenetelmät rakennuksille on annettu standardissa SFS-EN-15193. Standardista löytyvät ohjeet valaistuksen energiatohokkuutta kuvaavan LENI-indeksin laskentamenetelmistä. Indeksiä laskettaessa pyritään kaikki valaistuksen energiatohokkuuteen vaikuttavat seikat ottamaan huomioon. (ST-kortti 58.04 2013.)

LENI-indeksi (LENI) kuvaa rakennuksen sisävalaistuksen kokonaisenergiankulutusta (kWh/m²/vuosi) lasketaan kaavan 2 mukaisesti

$$\text{LENI} = \frac{W_{\text{kok}}}{A} \quad (2)$$

jossa W_{kok} on valaistukseen käytetty vuotuinen kokonaisenergia (kWh/vuosi) ja A on valaistuhuoneistoala (m²) (ST-kortti 58.04 2013).

6 LED-VALAISTUSJÄRJESTELMÄ

Led-valaisimet ovat kehittyneet viime vuosina paljon. On tullut lukuisia, hyviä uusia valaistusratkaisumalleja niin valaisimien kuin ohjausjärjestelmien saralla. Ne ovat ruvenneet löytämään tiensä kuluttajien käyttöön.

6.1 Energiahäviöt Led-valaistusjärjestelmässä

Energiaa häviää Led-valaistusjärjestelmässä eri osa-alueisiin. Vaikka Ledin itsensä hyötysuhde on hyvä, on myös muut järjestelmän osat suunniteltava energiatohokkaiksi. Näin päästään todellisiin tuloksiin häviöiden minimoinnissa. Energianhukkaa esiintyy valaistusjärjestelmän Ledissä, liitäntälaitteessa, johtimissa ja liittimissä. Liitäntälaitteisiin hukkaantuva energiamäärä on noin 5–50 %. Liitäntälaitteen energianhukka on vahvasti valmistaja- ja tuotesidonnaista. Liitäntälaitteeksi tulee valita energialuokaltaan mahdollisimman hyvä laite. (ST-kortti 57.52 2008.)

6.2 Led-valaisimen kytkentävirtapiikki

Led-valaisimet ottavat käynnistyessään huomattavan korkean kytkentävirtapiikin ver-
raten vanhoihin valaistusjärjestelmiin, esimerkiksi i-Valon Led-valaisimen Dora+
käynnistysvirta on 60A 200 μ s ja palamisvirta vain 0,54A. Näin ollen Led-valaisimien
kytkentävirtapiikki voi aiheuttaa johdonsuojakatkaisijan ennenaikaisen laukeamisen.
Osassa Led-valaisimista on jo liitälaitteissa huomioitu kytkentävirtapiikki, jolloin
voidaan valaistuksen kuormituksen mukaan laskea sulakkeen kestoisuutta, kun taas
osalla valaisinvalmistajista kytkentävirtapiikki on huomioitu taulukolla. Taulukossa il-
moitetaan sulaketta kohti soveltuva valaisin määrä, esimerkiksi C16A 13 kpl.

Kytkevävirtapiikin ehkäisyyn on myös tarjolla erivalmistajilla tuotteita. Esimerkiksi
Schneiderillä on tarjolla modulikontaktoreja (kuva 1), jotka kytkevät valistuksen päälle
aina siniaallon nollakohdassa, estäen suuren kytkentävirrän syntymisen. Näin kontak-
torien tai syyreleiden kuormitettavuus kasvaa ja käyttöikä saadaan pidennettyä.
(Schneider 2016.)



KUVA 1. Acti9 ICT+ modulikontaktori (Schneider 2016)

6.3 Liitälaitte

Liitälaitteen tehtävä on muuttaa verkkovirta Ledille sopivaksi tasavirraksi (DC).
Led-valonlähde tarvitsee aina liitälaitteen ja yksinkertaisimmillaan se on vastus, joka
rajoittaa virran sopivaksi. Led-valaisimissa on yleensä hakkuri liitälaitte. Hakkuritek-
niikalla saadaan samanlaiset jännitteet ja virrat kuin perinteisellä muuntajatekniikalla-
kin, mutta hakkuritekniikkaan perustuvien muuntajien etuna on niiden pieni koko, ke-
veys ja hyvä hyötysuhde. (ST-kortti 57.52 2008.)

Liitäntälaitetta rajoittaa, että sen tulee olla suunniteltu standardoiduille tai tehtaan omille Ledeille. Ilman standardia ei saada välttämättä aikaan yhteneviä liitäntälaitteita. Liitäntälaitteen ja ohjaimen on sovittava yhteen toistensa kanssa. Liitäntälaitteessa itsessään voi olla säätimet tarvittavien parametrien säätöön esimerkiksi kirkkaus ja väri, tai liitäntälaitteessa voi olla vain sähkönsyöttö eli mahdollisuus ohjauksella tai suoraan liitäntälaitteesta kytkeä Led-valonlähde päälle tai pois päältä. Koska ohjaavat standardit ovat olleet pitkään kehittelyvaiheessa, on markkinoilla paljon valmistajan omia tuotteita ja vain niille sopivia liitäntälaitteita ja ohjaimia. Tilattaessa samalta valmistajalta yhteensopivat Ledit ja liitäntälaitteet sekä ohjaimet säästetään suunnittelukustannuksissa. (ST-kortti 57.52 2008.)

Liitäntälaitteen avulla voi monitoroida Led-valonlähteen lämpötilaa ja tarvittaessa kompensoida ohjauksen kautta. Liitäntälaitteelta on myös mahdollista saada tietoa vioittuneista Ledeistä ohjaimelle ja sitä kautta ylläpitoon. (ST-kortti 57.52 2008.)

6.4 Suojaus

6.4.1 Suojaus ympäristön olosuhteilta

Niin Led- kuin muissakin valaisimissa ympäristön olosuhteet on otettava hyvin huomioon valaisin mallia valittaessa. Suojaus lämmöltä, lämpötekniikka on Led-valaistusjärjestelmää suunnittelussa olennaista. Lämpöä on siirretty valonlähteissä aina. Ledien lämmönsiirto poikkeaa esim. halogeenivalaisinten lämmönsiirrosta. Ledien kriittiset lämpötilaerot ovat pienet, jolloin lämpöreittien on oltava parempia ja lämpöreiteillä tulee olla aiempaa parempi lämmönjohtavuus. (ST-kortti 57.52 2008.)

Lämpötilan sieto on komponentti- ja valmistajasidonnaista. Led-valonlähteen sisäinen lämpötila ei saa ylittää valmistajan ilmoittamaa maksimiarvoa huolimatta ympäristön lisääntyneestä lämpökuormasta. Valmistajien ilmoittamat maksimilämpötilat vaihtelevat, mutta karkeana ohjearvona lämpötilat saisivat nousta korkeintaan 70 °C ulkolämpötilasta riippumatta. (ST-kortti 57.52 2008.)

Tilat, joissa lämpötila voi väliaikaisestikin nousta korkeaksi, tulee ottaa huomioon Led-valonlähteiden lämpökuorman hallinnassa. Led-valonlähteen maksimikäyttölämpötila tulee tarkastaa aina. (ST-kortti 57.52 2008.)

6.4.2 Käytettävien liitäntälaitteiden suojalaitteet

Led-valaisimen liitäntälaitteessa tulee olla suoja, joka suojelee Led-valonlähteitä sekä sähkönsyöttöverkkoa. Nykyiset liitäntälaitteet sisältävät yleensä suojalaitteet. Sähkösyötön suuntaan suojaudutaan oikosululta sulakkeella ja liitäntälaitte sietää Led-valonlähteen jatkuvan oikosulun. Led-valaistusjärjestelmän suojaus tulee toteuttaa standardin SFS-6000 mukaan. (ST-kortti 57.52 2008.)

6.4.3 Suojaus muilta ympäristön olosuhteilta

Led-valaistusjärjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon kaikki normaaliin valaistusjärjestelmän suojaukseen liittyvät seikat, esim. kosteussuojaus, kotelointiluokat, suojaluokat, ilkevallalta suojaus ja materiaali vaatimukset. (ST-kortti 57.52 2008).

Led-valaistusjärjestelmässä on lämpösuunnittelun lisäksi erityisesti otettava huomioon pöly ja myös fyysiset iskut ja värinat. Pöly voi myös aiheuttaa muutoksen lämpöfysiikkaaliseen lämmönsiirtosuunnitteluun ja nostaa maksimilämpötilaa (esim. pöly tukkii lämpöreitin). Värinää ja iskuja Led kestää hyvin, mutta piirilevyt ja itse piisiru ovat heikkoja ja halkeavat lämpöliikkeiden lisäksi herkästi myös fyysisistä iskuista. (ST-kortti 57.52 2008.)

7 LED-VALAISIMEN ELINIÄN MÄÄRITELMIÄ

Led-moduulin elinikä L_x valaisimessa on verrannollinen valovirran alenemaan kyseisessä ympäristön lämpötilassa. L70, L80 tai L90 osoittaa kuinka monta prosenttia alkuperäisestä valovirrasta on jäljellä ilmoitetun käyttötuntimäärän jälkeen. L-arvon lisäselvityksenä voidaan ilmoittaa B-, C- ja F-arvo. (Glamox 2016.)

Vikaantumiskerroin B_y ilmaisee ainoastaan valovirran asteittaisen vähenemisen eliniän aikana prosenttiosuutena y samanlaisten Led-moduulien joukossa. B50 osoittaa, että eliniän lopussa 50 prosentissa, Led-moduulin valovirta on vähintään yhtä suuri tai suurempi kuin L-arvon ilmoittama valovirta ja 50 prosentissa Led-moduulin valovirta on tätä pienempi. B10 tarkoittaa, että 90 prosentissa Led-moduuli tuottaa vähintään ilmoitetun L-arvon mukaisen valovirran ja vain 10 prosentissa Led-moduulin valovirta on

sitä alempi. Täten B10-arvo on tiukempi vaatimus kuin B50. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että Led-moduuliryhmässä B10-arvo saavutetaan aiemmassa vaiheessa elinikää kuin B50-arvo. (Glamox 2016.)

Vikaantumiskerroin C_y ilmaisee ainoastaan eliniän aikana ilmaantuvien täydellisten vikaantumisten prosenttiosuuden y samanlaisten Led-moduulien joukossa. Täydellinen vikaantuminen tarkoittaa sitä, ettei Led-moduuli tuota lainkaan valoa. (Glamox 2016.)

Vikaantumiskerroin F_w on yhdistelmä määrittelyistä B_y ja C_y Esimerkiksi määrittely 50000 h (L70F10) tarkoittaa, että 50000 tunnin jälkeen tuotteista korkeintaan 10 % on joko kokonaan rikki tai antaa alle 70 % alkuperäisestä valovirrasta. (Glamox 2016.)

Ympäristön lämpötila T_a valaisimen ympäristön suurin ja pienin lämpötila esimerkiksi: $T_a -40^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$

Liitäntälaitteen referenssilämpötilapiste T_c ilmoittaa lämpötilan jonka liitäntälaitte ei saisi koskaan ylittää sille merkittyä arvoa. Led-moduulien liitäntälaitetta voidaan verrata muihin elektronisiin liitäntälaitteisiin, kuten esimerkiksi T5-lamppujen käyttämiin HF-liitäntälaitteisiin. Liitäntälaitteen elinikä riippuu laitteen suunnittelusta, käytetyistä komponenteista ja niiden käyttölämpötilasta. Liitäntälaitteisiin on merkitty referenssilämpötilapiste T_c -piste. Useimmiten valaisimisen suurin sallittu ympäristön lämpötila T_a on verrannollinen T_c -pisteen maksimilämpötila-arvoon. (Glamox 2016.)

8 VALAISTUKSEN OHJAUS

Valaistuksen ohjaus perustuu automatiikkaan tai käyttäjän manuaaliseen ohjaukseen. Tilan käyttötapa vaikuttaa ohjaustavan valintaan. Valaistuksen säädöllä pyritään luomaan tilasta käyttäjää miellyttävä ja säästämään energiaa. Automaattisen ohjaustavan kanssa käytetään usein myös manuaalista ohjaustapaa. Valonohjaus- ja säätöjärjestelmä voidaan liittää rakennusautomaatiojärjestelmään, jolloin samalla tilatiedolla voidaan ohjata muutakin tekniikkaa. (ST-kortti 58.04.)

8.1 Valaisimissa esiintyvät ohjausvaihtoehdot

Valaisimia pystytään ohjamaan monella eri tapaa riippuen tilanteesta. Valaisinvalmistajilla on yleensä samasta valaisinmallista saatavilla useita eri liitäntälaitteivaihtoehtoja valittavan tai jo olemassa olevan ohjaustavan mukaan.

8.1.1 Paikallisojtaus ON/OFF

On/off-paikallisojtauksella tarkoitetaan lähinnä paikallispainike- tai liiketunnistinohjausta, joilla katkotaan verkkojännitettä valaisimilta joko suoraan tai kontaktorien avulla tehokuormasta riippuen.

8.1.2 0-10V

0-10V-ohjaus on EN-60929-standardin mukainen analogiaohjaus. Nykyään se on jo vähemmän käytetty ohjaustapa, jossa jänniteviestillä ohjataan valaistuksentasoa. Järjestelmässä ohjausjännite on 1–10 V DC. Valaisimet eivät sammu jänniteohjauksella, vaan sitä varten on järjestelmässä erillinen kytkin. Tyypillisesti ohjainkiertokytkin kykenee ohjaamaan 50 valaisinta, mutta kytkimen katkaisukestävyydestä riippuen kytkettävien valaisimien määrä voi olla pienempi. Analogisessa ohjauksessa samaan piiriin kytkettyjä valaisimia ei pysty säätämään yksittäin, vaan kaikki piiriin kytketyt valaisimet säätyvät yhtä aikaa.

8.1.3 Dali-Standardi

Dali (Digital Addressable Lighting Interface) on valaistuksen ohjauksen digitaalinen, osoitteellinen ohjausjärjestelmä. Se on kehitetty usean alan yrityksen yhteistyönä. Dali on standardisoitu kansainvälisen IEC-60929 mukaan. Ohjausjärjestelmässä laitteet liittyvät väylään, jonka muoto on vapaa, mutta pituus rajoitettu.

9 DALI-JÄRJESTELMÄ

Dali-järjestelmä yleensä muodostuu teholähteestä, reitittimestä, ohjainlaitteesta, valaisimen Dali-liitäntälaitteesta sekä Dali-väylästä. Ohjaimena järjestelmässä voi toimia niin Dali-ohjaimet, kuin myös tavalliset kytkimet/anturit tai vastaavat. Muut kuin Dali-ohjaimet voidaan liittää erilaisilla väyläsovittimilla Dali-järjestelmään. Yhdessä Dali-väylässä laitteita voi olla 64 kappaletta, mutta reitittimien avulla väyliä voidaan yhdistää isoiksi Dali-laitteiden kokonaisuuksiksi. Kuvasta 2 voidaan nähdä laitteita, mitä Dali-väylään voidaan kytkeä. Yhden reitittimen avulla voidaan liittää kaksi kuudenkymmenen laitteen sisältävää Dali-väylää toisiinsa. Näin saadaan kaksi väylää, jotka sisältävät laitteita yhteensä 128kpl. Ethernet-kaapelilla voidaan linkittää useampia Dali-reitittimiä yhteen ja niiden alla olevia Dali-väyliä toisiinsa.



KUVA 2. Dali-väylään liitettäviä laitteita

9.1.1 Dali-järjestelmän fyysinen asennus

Verkkovirran säätämiseen tarkoitettut rele- ja himmenninlähdet, virtalähteet sekä eri järjestelmien liitäntäyksiköt asennetaan Din-kiskoon kosketussuojattuun koteloon tai keskukseen. Dali-järjestelmässä väylän maksimipituus on kaapeleissa syntyvän jännitteenalennuksen vuoksi noin 300 metriä ($\text{MMJ3} \times 1,5\text{mm}^2$), jolloin suureen järjestelmään saatetaan tarvita tila- tai kerroskohtaisia ohjauskoteloita.

Tavalliset painonapit, kytkimet ja tunnistimet voidaan liittää järjestelmään joko mini-sisääntuloyksiköllä, joka kytketään kojerasian taakse, tai Dali-ohjauskeskukseen asennettujen sisääntuloyksiköiden kautta. Jos järjestelmään kuuluu Dali-liitäntälaitteita ja mini-sisääntuloyksiköitä, sisääntuloyksikköön liitettävien kytkinlaitteiden tulee olla verkkovirran kestäviä. (TAMK 2012.)

Analogiatietoa voidaan sovittimilla kääntää Dali-komennoiksi. Dali-laitteissa on esiohjelmoidut tehdasasetukset, joiden muuttaminen onnistuu valmistajien tarjoamilla ohjelmistoilla, kosketusnäytöillä, kaukosäätimillä tai joillain Dali-ohjaimilla. Dali -järjestelmä voidaan liittää olemassa oleviin valaistuksen ohjausjärjestelmiin esimerkiksi 1-10V/DMX/DSI tai rakennusautomaatiojärjestelmiin esimerkiksi LON/KNX. (TAMK 2012.)

”Dali-valaisimien liitäntälaitteiden yhteensopivuus tulee varmistaa eri valmistajien valaistuksen ohjausjärjestelmän kanssa, ennen asennusta. On ollut kohteita, joissa ne eivät ole toimineet yhteen ja valaisimiin on jouduttu vaihtamaan liitäntälaitteet”, kertoo Petri Muittari ARE Oy:stä (2016).

9.1.2 Dali-väylän tehonsyöttö

Dali-järjestelmä tarvitsee erillisen virtalähteen maksimivirran ollessa kuitenkin 250mA. Teholähteitä saa mm. Din-kiskoasennuksiin ja uppo- tai pinta-asennuksiin. Laitteesta riippuen niiden tuottama virta on yleensä 90-250mA. Vanhoissa Dali-kohteissa saattaa olla käytössä myös ratkaisu, joissa Helvarin liitäntälaitteet syöttävät pientä järjestelmää. Yksi vanhanmallinen Dali-liitäntälaitte voi syöttää väylään 20mA, mutta ominaisuus on uusista laitteista poistettu. (TAMK 2012.)

9.1.3 Dali-järjestelmän ohjelmalliset osoite- ja ohjausratkaisut

Jokainen valaisimen liitäntälaitte luo 24-bittisen yksilöllisen laiteosoitteen, joka varmistaa laitteen identifioinnin. Ohjauksessa 24-bit laiteosoitetta ei käytetä. Ohjausta varten ohjainyksikkö määrää 6-bittisen lyhytosoitteen (0-63), jolla laitetta kutsutaan. Tämän vuoksi ilman reititintä yhteen Dali-väylään voi liittää maksimissaan 64 laitetta. Ilman reititintä järjestelmä voi sisältää maksimissaan 16 ryhmää, joista jokaiselle voidaan asettaa eri ryhmäkohtaiset valaistustilanteet. (TAMK 2012.)

Yksi ja sama kuormalaite voi kuulua useaan eri ryhmään. Valaisimen liitäntälaitteeseen voi tallentaa valaistustilanteita, joita voi olla enintään 16 erilaista. Näitä voidaan kutsua ohjaimilla, kuten painonapeilla tai kaukosäätimellä. Ohjainlaitteeseen tallennetaan, mitä osoitetta/ryhmää se kutsuu ja minkä komennon se lähettää. Laite voi ohjata myös koko järjestelmää broadcast-käskyllä. (TAMK 2012.)

9.1.4 Dali-järjestelmän muistipaikat

Dali-järjestelmän tarvittavat tiedot voidaan tallentaa yksittäisiin liitäntälaitteisiin ja ohjaimiin, jotka on mahdollista ohjelmoida myös uudestaan. Tieto tallentuu Flash-muistiin, eikä se pyyhkiydy virtakatkoksessa. Jaksollisia tai aikaohjauksia varten järjestelmään tulee liittää esimerkiksi kosketusnäyttö tai reititin, joissa on sisäänrakennettu kello. Reitittimessä on myös enemmän muistitilaa, joka mahdollistaa esimerkiksi loogisten operaattoreiden käytön mm. AND, OR, NAND ja NOR. (TAMK 2012.)

9.1.5 Dali-liitäntälaitteiden muistipaikat

Dali-yhteensopiviin liitäntälaitteisiin voidaan tallentaa seuraavat tiedot (TAMK 2012)

- Laitteen osoite (pitkä ja lyhytosoite)
- Ryhmätiedot (yksi tai useita)
- Minimi- ja maksimivalaistustasot
- Sääto aika (0-1,5 min)
- 16 valaistustilannetta
- Hätätalatoiminnot (väylän katkeaminen/sähkökatkos). Myös viimeisin valaistustaso jää muistiin sammutettaessa.

10 KOHDE

Alue, johon suunnitelma toteutettiin, sijaitsee koivutehdashallin alkupäässä kahden kuivauslinjan, saumauslinjojen ja neljän ladontalinjan kohdalla. Alueen pinta-ala on noin 6800 m². Alueella yleisvalaistuksen voimakkuus vanhoilla valaisimilla on keskimäärin noin 300-350lx. Näillä valaisimilla käyttöikä alkoi olla tiensä päässä, koska valaisimet olivat olleet käytössä noin 20 vuotta. Tästä johtuen valaisimet vaativat täydellistä peruskorjausta tai valaisinmalli täytynee vaihtaa kokonaan.

10.1 Olosuhteet

Tehdashallissa olosuhteet ovat haastavat valaisimelle johtuen puupölystä ja lämpötilasta alueella. Puu-/liimapöly tarttuu helposti valaisimien pinnoille johtuen alueella sijaitsevista ladontalinjoista, joissa puuviilut liimataan toisiinsa. Tästä johtuen valaisinmallin tulisi olla muodoltaan sellainen, jonka pinnoille ei pääsisi helposti kertymään pölyä. Pölyn kertyminen on ongelma niin valaisimen jäähdytykselle, kuin paloturvallisuudelle. Pölystä johtuva jäähdytyksen heikentyminen lyhentää valaisimen käyttöikää merkittävästi.

Käyttöympäristön lämpötila tulee ottaa myös erityisesti huomioon valaisinmallia valittaessa. Alueella käyttöympäristön lämpötila vaihtelut ovat suuria. Tämä johtuu kolmesta viulun kuivauslinjasta koivuvaneritehtaan alkupäässä. Käyttöympäristön lämpötila valaisimen asennuskorkeudessa alueella vaihtelee +25 °C ...+40 °C välillä, kuukausina kesäpäivinä lämpötila voi nousta vielä huomattavasti korkeammaksi. Vanhojen valaisimien käyttöympäristön lämpötila on Ta -30 °C ...+45 °C, jonka mahdollisten uusien valaisimien tulisi vähintään täyttää.

10.2 Vanha valaistusratkaisu

Vanha valaistusratkaisu on toteutettu i-Valon syvästeilijä mallilla 6242. V3 MT-400W monimetallivalaisin (kuva 3), joita alueella sijaitsee 279 kappaletta. Valaisimet on asennettu valaisinkiskoon keskimäärin 5,5 m välillä toisistaan, asennuskorkeus lattiapinnasta on noin 6,1 - 6,7 m katonkaltevuudesta riippuen. Vanhat valaisimet on kytketty sähköverkkoon kumikaapelilla, jossa on Schuko-pistotulppaliitäntä. Tarkemmat tuotetiedot esitellään liitteessä 1.



KUVA 3. Valaisin i-Valo 6242. V3 syväsäteilijä (i-Valo 2016)

10.2.1 Vanha valaistuksen ohjaus

Valaistuksen ohjaus teollisuushallissa on toteutettu painonappikoteloilla, suunnittelu-kuva kotelosta (liite 2). Painonappikoteloita on sijoitettu tehtaan ulko-ovien lähetyville ja kantaviin pylväisiin yhteensä 4 kpl. Valaistus on jaettu painonapeilla ohjattaviin viiteen eri alueeseen. Lisäksi erillisenä ryhmänä ovat yö valot 15 kpl, joiden käyttökytkin sijaitsee keskuksen kannessa. Painonapeilla ohjataan askelreitä, joilla ohjataan eri sulakeryhmien kolmivaiheisia 16A:n kontaktorilähtöjä yhteensä 31 kpl (kuva 4).

Vanhalla valaistuksenohjauksella valot ovat päällä yötä päivää, arkena ja viikonloppuna, eikä valoja sammuteta missään vaiheessa. Sunnuntai päivisin tehdas on tuotantoseisokissa, jolloin siellä tehdään ainoastaan tarvittavia huoltotoimenpiteitä. Näin ollen valaistus voitaisiin sammuttaa illalla ja yöllä.



KUVA 4. Keskuksen valaistuslähdet ja ohjauskontaktorit

11 TULEVAISUUDEN TAVOITE

Tulevaisuuden tavoitteena oli saada tehdashalliin pitkäikäinen ja energiatehokas valaistusjärjestelmä. Valaistuksen ohjaus haluttiin saada toimimaan helposti säädettävänä ja vastaamaan tehtaan tarpeita. Valaistuksen ohjaus tulisi myös saada yhdistettyä tehtaan muihin osiin portaattomasti tulevaisuutta silmällä pitäen. Näin säästettäisiin energiakuiluissa ja valaisimien käyttöiässä työmukavuudesta tinkimättä.

Tärkeimpiä ohjattavia ryhmiteltäviä kohteita ovat työpisteet, kulkureitit ja ns. toisarvoiset tilat. Työpisteillä olisi tärkeä säilyttää hyvä valaistustaso työtehokkuuden ja viihtyvyyden kannalta. Kulkureittien hyvä valaistus on ensiarvoisen tärkeää alueella suuren trukki-liikenteen johdosta tuoden kaikille osapuolille turvallisuutta liikuttaessa tehdashallissa. Toisarvoisien tilojen oikeanlainen valaistuksen ohjaus toisi energiatehokkuutta säästämällä energiaa ja pidentämällä valaisimien elinikää.

12 SUUNNITTELU

12.1 Energiaa säästävä valaistussuunnittelu

Suunnittelija voi yksinkertaistamalla ratkaisuja ja silti noudattaen määräyksiä saada valopisteiden määrän minimiin ja siten säästää energiaa. Suunnittelu parantaa olennaisesti valaistuksen laatua, ja hankittu järjestelmä on usein energiatehokkaampi. Suunnittelijalla on mahdollisuus tutkia valittavien laitteiden ja komponenttien ympäristöystävällisyyttä ja tehdä valintoja. (ST-kortti 57.52 2008.)

12.2 Valaisimien valinta

Valaisimet on valittava ja asennettava siten, että suojausmenetelmille ja valaisimen toiminnalle asetetut vaatimukset täyttyvät. Myös ulkoisten tekijöiden asettamien vaatimuksien on täytyttävä. Valaisimien on oltava sähkömagneettisia häiriöitä koskevan EMC-direktiivin mukaisia.

Valaisimen on täytettävä sitä koskevien rakennestandardien ja pienjännitedirektiivin turvallisuusvaatimukset niin, että (ST 57.45 2004)

- Valaisimet ovat helppoja asentaa, käyttää ja huoltaa
- On rakennettu tarkoituksenmukaisista komponenteista
- Ovat energiataloudellisia
- Eivät aiheuta palo- tai tapaturman vaaraa
- Sietävät ulkopuolista likaa, kosteutta, pölyä ja kemiallisia vaikutuksia kotelointiluokan mukaisesti
- Suojaavat valonlähdettä mekaanisilta rasituksilta tarkoituksenmukaisissa olosuhteissa
- Eivät aiheuta ympäristölle vahinkoa (sirpalesuojat)
- Toteuttavat työympäristön ergonomiaan liittyvät vaatimukset
- Täyttävät ympäristöministeriön vaatimukset valmistuksen, käytön ja hävityksen suhteen

12.3 Valaistussuunnittelu DIALux

Valaisinvalmistajat suunnittelevat valaistusratkaisut usein DIALux-ohjelmalla. Valmistajat ovat tehneet heidän valaisimilleen valmiit tuotekortit ohjelmaan eri valaisintyypeille saadakseen oikeat valaistuslaskelmatulokset. Ohjelmalla saadaan myös kolmiulotteinen kuva hallista ja havainnekuva valaistuksen lopputuloksesta.

12.3.1 Valaistuksen huoltokerroin

Huoltokertoimella on tärkeä rooli valaistusta suunniteltaessa, kun lasketaan valaistustason pysyvyyttä tilan puhtauden, huollon ja käytön mukaan, oheisessa taulukossa 6 voidaan nähdä ohjelman eri ohjearvoja. Kohteessa valaisimen huolto pyritään minimoimaan valaisimien vaikean luokse päästävyyyden johdosta, jolloin myös huoltokertoimen tulee olla pieni, ettei alueen valaistusvoimakkuus laske liian alas likaantumisesta johtuen.

TAULUKKO 6. DIALux-ohjelman ohjearvot huoltokertoimelle

Taso	Arvo
Erittäin puhdas huone, vähäinen vuosittainen käyttö	0,80
Puhdastila, kolmivuotinen huoltoväli	0,67
Laitteisto ulkona, kolmivuotinen huoltoväli	0,57
Valolaitteisto ulkona tai sisällä, erittäin likainen	0,50

Valaistuksen huoltokertoimen MF voidaan myös tarkemmin laskea kaavalla 3

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \quad (3)$$

jossa:

- *LLMF* (Lamp Lumen Maintenance Factor) on valonlähteen valovirran pysyvyysskerroin eli valovirranalenema
- *LSF* (Lamp Survival Factor) on valonlähteen eloonjäämiskerroin. LSF-arvo voidaan jättää huoltokertoimen määrittämisessä huomiotta (arvo tällöin 1,0), jos rikkoontuneet valaisimet vaihdetaan välittömästi
- *LMF* (Luminaire Maintenance Factor) on valaisimen valovirranalenema. LMF-arvo on riippuvainen valaisintyyppistä (esim. koteloinnista), käyttöympäristön puhtaudesta ja valaisimen puhdistusvälistä. Tavallisesti käytettävät arvot sisävalaistuksessa ovat 0,93–0,98 puhtaissa tiloissa
- *RSMF* (Room Surface Maintenance Factor) on huonepintojen likaantumiskerroin. RSMF-arvot ovat riippuvaisia huoneen pintojen heijastuskertoimista, käyttöympäristön puhtaudesta, valaistustavasta (suora, suora/epäsuora, epäsuora) sekä huoneen pintojen puhdistusvälistä. Tyypillisesti arvot 0,95–0,97 puhtaissa tiloissa (Glamox 2016).

LLMF on käytännössä sama kuin L-arvo. L80 vastaa LLMF-kerrointa 0,8. Oikean L-arvon löytämiseksi täytyy ensin määritellä oikea vaadittu elinikä ja oikea vaadittu käyttölämpötila (T_a). LMF- ja RSMF-arvot on määritelty standardissa

CIE 97–2005, sekä useimmat valaistuslaskentaohjelmat sisältävät tarvittavat taulukot oikeiden arvojen määrittämiseen. (Glamox 2016.)

12.3.2 Heijastumissuhde

Pinnalle tuleva valovirta heijastuu osittain pinnasta takaisin tilaan $[\sigma] = \%$. Osa säteilystä absorboituu pintaan ja muuttuu lämmöksi. Osa valosta voi myös kulkeutua pinnan läpi. Pintojen heijastumissuhde ilmoitetaan prosentteina, kuinka suuri osa pinnalle kohdistuvasta valovirrasta heijastuu pinnalta takaisin. Se kuvaa pinnan vaaleutta ja siihen vaikuttaa valon tulosuunta, valon spektrikoostumus ja pinnan väri. (Ensto 2012.)

Heijastuminen voi olla suunta-, haja- tai sekaheijastumista. Heijastumissuhteella on vaikutus valaistuksen tehokkuuteen ja tilan valaistushyötysuhteeseen. Taulukossa 7 on eri pintamateriaalien heijastussuhteita. Heijastavat pinnat voivat myös aiheuttaa häikäisyä. Hyvin tummassa tilassa muodostuu suuria luminanssieroja tilan pintojen ja valaisimien valaisevien pintojen välillä, tämä osaltaan lisää kiusahäikäisyä. (Ensto 2012.)

TAULUKKO 7. Heijastumissuhteita eri pinnoilta (Ensto 2012)

Pinta	Heijastumissuhde σ (%)
Valkoinen	70 - 80
Vaaleat värit	50
Tummahkot värit	30
Tummat värit	10
Betoni	5 - 50
Tiili	10 - 30
Vaalea puu	55 - 65
Keltainen kangas	30 - 45
Punainen tai sininen kangas	10 - 20
Vaalea harmaa kangas	15 - 25
Ikkuna	10

Valaisimien heijastimien ja rakenteiden heijastumissuhde vaikuttaa valaisimen hyötysuhteeseen eli siihen, kuinka suuri osa lamppujen valovirrasta saadaan ulos valaisinrakenteesta (Ensto 2012).

DIALux-ohjelma asettaa heijastuskertoimet vakiona arvoon: katto 70, seinä 50 ja lattia 30. Kohteessa tulee kuitenkin käyttää huomattavasti matalampia arvoja, jotta päästään lähemmäksi todellisuutta tilan ollessa puupölystä johtuen likainen.

12.3.3 Huolto- ja heijastuskertoimien testaus DIALuxilla

DIALux-ohjelmalla testasin huoltokertoimen ja heijastussuhteen vaikutuksesta valaistusvoimakkuuteen yksinkertaisella kokeella i-valon 6242.V3 MT-400W valaisinta käyttäen. Taulukosta 8 voidaan nähdä tuloksia eri huolto- ja heijastuskertoimen arvoilla. Huoneen mittana käytin 6x6 m, kokoa peilasin siihen, mitä tällä hetkellä yksi valaisin hallissa valaisee. Vakioarvot ohjelmassa on katto70, seinä50 ja lattia20. Pintojen väri ei ohjelmassa vaikuta heijastuskertoimeen.

Testissä oli myös mukana logistiikkakeskuksen valaistussuunnittelussa käytetyt arvot katto 50, seinät 30 ja lattia 20. Huoltokertoimena käytin DIALuxin omasta valikosta ohjearvoa 0,57 laitteisto ulkona, huoltoväli kolme vuotta. Huoltokerroin oli logistiikka-keskuksessa käytetyistä arvoista keskimääräinen eri valaisinratkaisuille.

TAULUKKO 8. Tuloksia eri huolto- ja heijastuskertoimien arvoilla

Testatut arvot	Tulos
Vakio pinnat K70, S50, L20 ja vakio huoltokerroin, arvo 0.80	427lx
Muutettu pinnat K50, S30, L20 ja vakio huoltokerroin, arvo 0.80	384lx
Muutettu pinnat K50, S30, L20 ja itse mukautettu huoltokerroin, normaalit olosuhteet, huoltoväli kolme vuotta	337lx
Vakio pinnat K70, S50, L20 ja muutettu huoltokerroin, laitteisto ulkona, kolmi-vuotinen huoltoväli, arvo 0.57	304lx
Muutettu pinnat K50, S30, L20 ja itse mukautettu huoltokerroin, likaiset olosuhteet ja huoltoväli kolme vuotta	303lx

Muutetut pinnat K50S30L20, muutettu vakio huoltokerroin, laitteisto ulkona, kolmivuotinen huoltoväli, arvo 0.57	274lx.
Muutetut pinnat K50S30L20, muutettu vakio huoltokerroin, valolaitteisto ulkona tai sisällä, erittäin likainen, arvo 0.50	240lx
Ei likaantumista/alenemia, vakio pinnat K70, S50, L20 ja huoltokerroin, arvo 1.00 (Esimerkki)	534lx

Korkeimman ja alimman tuloksen välillä oleva ero on jo huomattava 187 luxia (pois lukien esimerkki), sillä on jo merkittävä vaikutus lopputulokseen. Tuloksista nähdäkseeni oikeat huolto- ja heijastuskertoimen maksimiarvot Suolahden vaneritehtaalla olisivat: katto50, seinät30, lattia20 ja taulukosta 6 huoltokertoimen ohjearvo 0,67. Ledien huoltokerrointa ei voi suoraan verrata normaalin valaistuksen kertoimeen, joita DIALux -ohjelmassa on ohjearvona, koska Ledien alenemakerroin on huomattavasti pienempi kuin normaalilla valaistuksella. Alhaisella huoltokertoimella kuitenkin pyritään tulevien uusien valaisimien huoltoväli maksimoimaan niiden hankalan huollettavuuden johdosta. Näin saadaan mahdollisimman hyvä valaistusvoimakkuus valaisimen elinkaaren loppuun asti, mikä tuo myös säästöjä huoltokustannuksissa. Pitää muistaa kuitenkin kohtuus valaisinmallia valittaessa, jotta kustannukset ja energiatehokkuus eivät kärsi.

Vakiovalo-ohjauksella saataisiin lähtötilanteen valotehoa pienennettyä tuoden energiansäästöä, mikä jo itsessään lisäisi valaisimen elinikää. Valoteho lisääntyisi valaisimen iän ja likaantumisen mukaan.

12.4 Valaistuksen ohjaussuunnittelu Dali

Suolahden vaneritehtaaseen mahdolliseksi ohjausjärjestelmäksi tulisi Dali-järjestelmän monipuolisuuden ja laajennettavuuden vuoksi. Dali-järjestelmä toteutetaan Dali-reitittimillä, näin voidaan laajentaa järjestelmä myöhemmin kattamaan koko tehdasta. Ohjaustapa olisi atk-pohjainen, jota voidaan ohjata niin päätteellä, kuin myös paikallishajauspainikkeilla ja -tunnistimilla.

Ohjauskaapelointi toteutettaisiin erillisenä kaapelointina nopeuttaen valaisimen asennusta ja kytkemistä uuteen ohjausjärjestelmään. Tehdashalliin tuotaisiin kenttäkoteloihin sijoitettuja Dali-reitittimiä, ja ne yhdistetään Ethernet-kaapelilla toisiinsa, jotta voitaisiin yhdistää useampi valaisinkisko aina yhteen Dali-väylään. Valaisinkohtaisesti kaapelointi rasioitaisiin, ja siitä johdotettaisiin edelleen valaisimessa sijaitsevaan Dali-kytkentäliittimeen.

13 UUDET VALAISINMALLIT JA VALAISINKOHTAISET OHJAUSVAIHTOEHDOT

Uusina vaihtoehtoina oli peruskorjata vanhat valaisimet, ja vaihtoehdoksi rinnalle päädyimme vertailemaan uusia Led-valaisimia niiden energiatehokkuuden ja ohjattavuuden ansiosta. Led-valaisimet ovat kehittyneet lähivuosien aikana paljon. Led-valaisimien hinta-laatu -suhde on parantunut ja valotehokkuus on noussut korkeaksi. Led-valaisimet kehittyvät vielä tulevaisuudessa edelleen.

Led-valaisinmalleja kartoitettiin usealta eri valaisinvalmistajalta, mutta kohteen haastavat olosuhteet ja tilan vaatimukset karsivat useita vaihtoehtoja. Uudet valaisinmallit on valittu yhteistyössä valaisinvalmistajien kanssa. Valaisimien tuli soveltua vanhojen valaisimien paikalle, ja ne kytkettäisiin Schuko-pistokkeella. Näin säästetään paljon asennuskustannuksissa, koska valaistuksen jännitesyötön kokonaan uudelleenjohdotus olisi hankalaa ja ohjauskaapelointi olisi hyvä säilyttää erillään. Alueella liikkumiseen tuovat omat haasteensa myös tuotannon laitteet, vaneripinot ja trukkiliikenne.

Valaisimien huollettavuus on kohteessa tärkeää, esimerkiksi tässä kohteessa Led-valaisimen tuli olla lasillinen versio, jotta valaisinta voidaan tulevaisuudessa huoltaa pyyhkimällä pelkäämättä pinnan naarmuuntumista ja siitä johtuvaa valaistusvoimakkuuden alenemista.

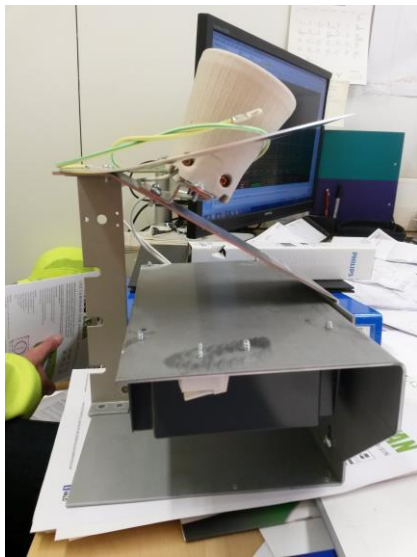
13.1 Vanhojen valaisimien peruskorjaus

i-Valolla on tarjolla vanhaan ehjään valaisinrunkoon uusi komponenttipaketti (kuva 6), jolla valaisimen teho päivittyisi 400W → 315W uudella keraamisella monimetallilampulla (kuva 5) ja elektronisella liitäntälaitteella. Uusien osien asennus on helppoa. i-

Valo toimittaa uuden tekniikan valmiina pakettina, joka sopii suoraan vanhaan valaisinrunkoon, näin ollen asentajalle jää vain vanhan valaisinrunгон puhdistaminen ja uudelleen asentaminen.



KUVA 5. Uusi polttimo 315W



KUVA 6. Uusi komponenttipaketti

Vanhaan valaisimeen on saatavilla myös Service pack-tuotteita. ISP+-paketti sisältää uuden polttimon, suodattimen, kondensaattorin (+johdot) ja sytyttimen. Paketin heikkoudeksi voidaan laskea korkea hinta. Myös paketista puuttuu kuristin, joka monesti tämän ikäisissä valaisimissa on jo huonossa kunnossa.

13.1.1 Ohjaus

Valaistuksen ohjaus pysyisi peruskorjatuilla valaisimilla pääosin ennallaan. Pientä hyötyä voitaisiin saada aikaan viikkokellolla, jolla saataisiin valot sammumaan ajastettuna, kun tehtaassa ei ole henkilökuntaa paikalla.

13.2 i-Valo Dora+

Valaisin on laadukas teollisuuden yleisvalaistukseen. Sitä voidaan käyttää samankaltaisissa kohteissa kuin perinteisiä purkauslampulla varustettuja laajasäteilijöitä. Valaisimen tyypillinen asennuskorkeus on 2 - 8 metriä. Valaisin on varustettu vaihdettavalla Goretex-suodattimella valaisimen sisään virtaavan paineentasausilman puhdistamiseksi. Näin valaisimen sisäosat pysyvät täysin puhtaina, eikä lika pääse vaurioittamaan herkkiä Led-siruja. Tällä taataan valaisimen pitkä elinikä. (i-Valo 2016.)

Tarkempana valaisintyyppivaihtoehtona kohteeseen on DO40-M0400-DJ, IP64, 122W, 4000k, Ta -40 °C ...+50 °C, 16800lm (kuva 7). Valaisin on Dali-ohjattu, ja siinä on hyvä valotehokkuus 145lm/W. Valaisimessa on karkaistu tasolasi helpottamaan puhdistusta, ja se on varustettu keskileveällä valonjaolla. (i-Valo 2016.)



KUVA 7. i-Valo DORA+ (i-Valo 2016)

13.2.1 Takuu

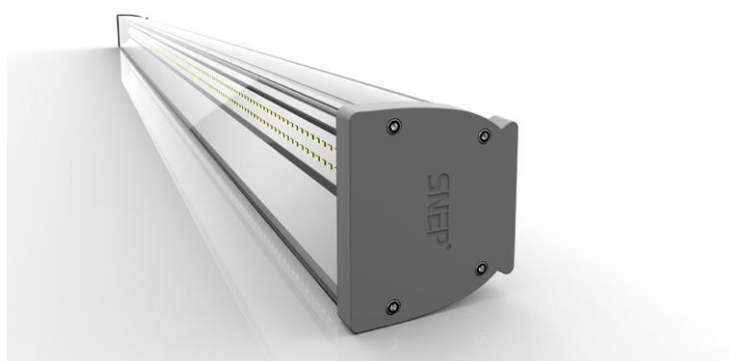
i-Valo antaa valaisimelle kahden vuoden takuun. Valaisimeen on myös neuvoteltavissa viiden vuoden takuu.

13.2.2 Ohjaus

i-Valo käyttää omissa Led-valaisimissaan Helvarin Dali-liitäntälaitteita, näin ollen olisi suositeltavaa käyttää saman valmistajan Dali-järjestelmää.

13.3 SNEP-Linear SI

SNEP-valaisintyypiksi valaisintoimittajan kanssa yhdeksi vaihtoehdoksi on valittu SNEP-Linear SI 840-P1M-44S-113134 110W, IP44, 14200lm, johon liitosjohto Vskp Schuko, Käyttöympäristön lämpötila Ta -30 °C ...+50 °C. Valaisimeen tulisi langottomalle ohjaukselle optiona lisälaite SNEP i120. Käyttöympäristön lämpötila on Ta -40 °C...+60 °C. Valaisimen IP-luokkaa nostettaisiin optiona IP44 → IP65. Valaisimessa on sileä alumiinirunko (kuva 8), joka ei kerrytä pölyä ja näin ollen jäähdyttää Led-moduulia ja liitäntälaitetta. Valaisimen asennus korkeus on 6 m ... 12 m. (Purso Oy 2016.)



KUVA 8. SNEP-Linear SI valaisin (Purso Lighting Systems 2016)

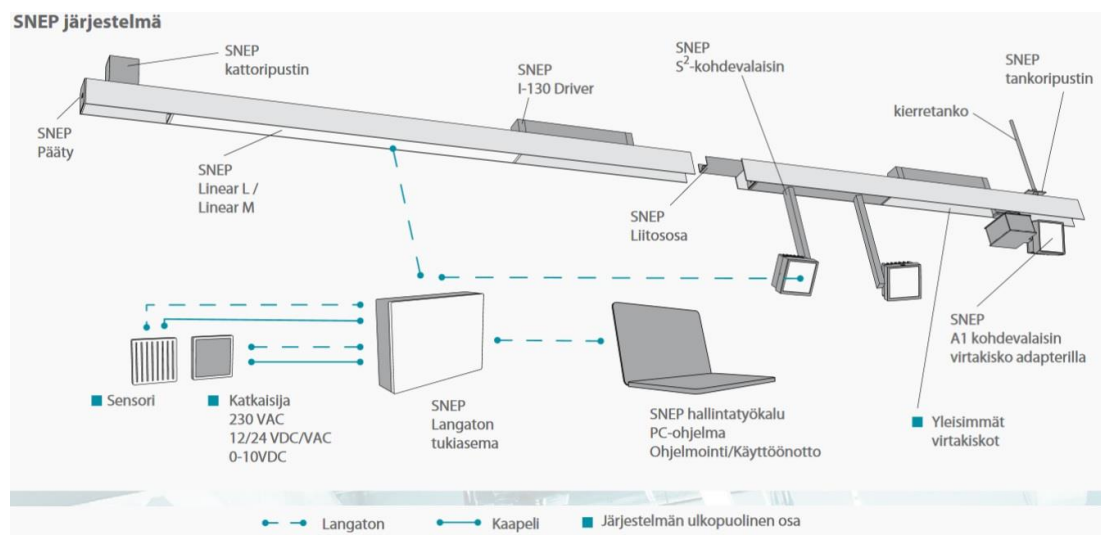
13.3.1 Takuu

SNEP-järjestelmällä ja valaisimella on kolmen vuoden takuu, jota voidaan tilanteen mukaan myös laajentaa. Lisäksi SNEP-järjestelmätakuu varmistaa, että samaan järjestelmään on saatavilla entistä energiatehokkaampia tuotteita. (Purso Oy 2016.)

13.3.2 SNEP-järjestelmän langaton valaistuksen ohjaus

SNEP-valaistusjärjestelmään on optiona saatavana langaton ohjausjärjestelmä (kuva 9). Järjestelmään kuuluu valaisin, i-120 Led-liitäntälaite, SNEP Control-ohjaustyökalu

sekä tukiasema. SNEP-valaistusjärjestelmä soveltuu, myös perinteiseen on/off-käyttöön. Tilanteen muuttuessa valaisimet voidaan ohjelmoida uudelleen vaivattomasti. (Purso Oy 2016.)



KUVA 9. SNEP-järjestelmä (Purso Oy 2016)

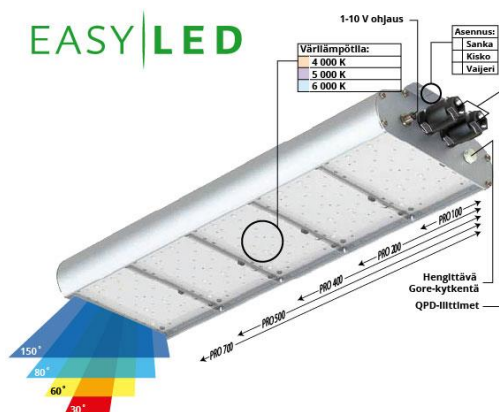
13.3.3 SNEP-järjestelmän asennus kohteessa

Vanha valaistusohjaus purettaisiin. Tukiasemille ja tuleville valaistuksen ohjauspisteille tehtäisiin sähkösuunnitelmat asennuspaikkaa ja kaapelointia varten. Snep-järjestelmän tukiaseman kantama on jopa 150 m, ja siihen voi ohjelmoida valaisimia 250 kpl. Tukiasemassa on 6 kpl relesisääntuloryhmää, joissa voidaan relettä vaihtamalla valita oikea sisääntulojännite valaistusohjausta varten. Vähimmäismäärä tukiasemille kohteessa on kaksi, koska valaisimien määrä ylittää 250 kpl. Tukiasemien kantavuutta ei nähdä esteenä kohteessa. Tehdashalli on lähes esteetön katon tukirakenteiden alapinnan korkeudessa. Tukiasemien tarkempi määrä tulisi valita tarvittavan valaistusohjauksen mukaan, näillä kahdella tukiasemalla saataisiin 12 kpl eri valaisinryhmiä.

13.4 Easyled Pro 6x Oslon

Easyledin valaisin Pro 6x, IP66, 149W, 6000k, Ta -40 °C ...+55 °C (260mA), 18140lm (kuva 10) on rakennettu virtaviivaiseen alumiinirunkoon, joka olisi helppo pitää puh-

taana. Optiikkana siinä on keskileveä valonjako (80°). PRO Series -valaisimien elektronikka on suunniteltu toimimaan yli 80 000 tunnin ajan erinomaisella hyötysuhteella korkeissakin lämpötiloissa. (Easyled 2015.)



KUVA 10. Easyled pro x (Easyled 2015)

13.4.1 Takuu

Easyled Oy antaa PRO Series -valaisimille viiden vuoden takuun, joka kattaa valaisimien valmistus- ja materiaaliviat. Takuu koskee kaikkia valaisimen komponentteja Led-moduuleista aina valaisimien aivoihin- sen räätälöityyn virranhallintajärjestelmään. (Easyled 2015.)

13.4.2 Ohjaus

Easyled käyttää valmistamissaan Led-valaisimissa omia liitäntälaitteita, jotka he ovat itse suunnitelleet. Valaisimissa on vakiona 0-10v säätö, ja niihin on lisävarusteena mahdollisuus saada lisäksi Dali-liitäntälaite.

13.5 Greenled Sigma

Greenledin valaisin Sigma, IP65, 235W, 4000k, Ta -20 °C ...+35 °C, 30000lm (kuva 11) on rakenteeltaan sileäpintainen, ja sen saumattomat seinäpinnat on helppo pitää puhtaina. Valaisin olisi varustettu lasilla, ja siihen olisi myös saatavilla pintakäsittely erilaisiin teollisiin toimintaympäristöihin. Valaisimen valonjako olisi toteutettu leveällä optiikalla. (Greenled 2016.)



KUVA 11. Greenled sigma (Greenled 2016)

13.5.1 Takuu

Suomessa valmistetuilla Sigma Led -valaisimilla on 5 vuoden tuotetakuu (Greenled 2016). Valaisimien takuu asioissa tulee huomioida tarkkaan, että valaisinta ei käytetä väärissä ympäristöolosuhteissa, jolloin valaisimien takuu raukeaa.

13.5.2 Ohjaus

Greenled käyttää omissa Led-valaisimissaan Osram-liitäntälaitteita. Dali-järjestelmän käyttöjärjestelmäksi he tarjoavat Osramin Encelium-ohjelmaa, jolla himmennettäisiin valaistusvoimakkuutta 500lx tasolle. Encelium on helppokäyttöinen, Web-pohjainen 3D-grafiikalla varustettu käyttöliittymä Dali-järjestelmään. Ohjelmaan voidaan mallintaa koko rakennus, ja sillä saataisiin keskitetty valvonta koko tehdasalueen valaistukselle helpottamaan suurien tilojen hallintaa.

14 VALAISIMIEN TEKNINEN VERTAILU

Taulukosta 9 voidaan vertailla kohteeseen valittuja eri valaisinmalleja. Siitä nähdään valaisimien tärkeitä arvoja ja ominaisuuksia, ja niitä voidaan helposti verrata keskenään. Valaisimien vertailussa kannattaa erityisesti kiinnittää huomiota valaisimen valovirtaan, värintoistoindeksiin, elinikään ja ympäristönlämpötilaan unohtamatta muitakaan tärkeitä ominaisuuksia tilan vaatimusten mukaan.

TAULUKKO 9. Tekninen vertailu

Tuote	Teho (W)	Valovirta (lm)	Valotehokkuus (lm/W)	Väriämpötila CCT (K)	Värintoistoindeksi (CRI)
i-Valo 6242. V3 MT-400W syvästeilijä	400W	34 000lm	81lm/W	5500k	92
i-Valo 6242. V3 MT-315W syvästeilijä	315W	34 750lm	111lm/W	4200K	90
i-Valo DORA+	122W	16 800lm	145lm/W	4000k	>80
SNEP-Linear SI	110W	14 200lm	129lm/W	4000K	min. 80 typ.
GREENLED Sigma	235W	30 000lm	127lm/W	4000k	>80
EASYLED Pro 6x	149W	18 140lm	120lm/W	6000k	70(saat.82)
Tuote	Valonlähteen elinikä (h,Lx,Fy)	Ympäristön lämpötila Ta (min/max)	Vikaantuvuus (%/h)	Lasi	Tehokerroin Cos φ
i-Valo 6242. V3 MT-400W syvästeilijä	16 000h	-30 ... +45 °C	-	Kyllä	>0,9
i-Valo 6242. V3 MT-315W syvästeilijä	24 000h L80F30	-30 ... +40 °C	30% 24 000h	Kyllä	>0,9
i-Valo DORA+	50 000 L70B50	-40 ... +50 °C	-	Kyllä	>0,95
SNEP-Linear SI	100 000h L80B50	-20 ... +40 °C	10% 100 000h	Ei	>0,95
GREENLED Sigma	80 000h L80F10	-20 ... +35 °C	10% 80 000h	Kyllä	>0,95
EASYLED Pro 6x	80 000h L80	-40 ... +55°C	-	Ei (mahd. Keraamien pinnoite)	0,97
Tuote	IPxx	Paino (kg)	Valonlähteen / liitäntälaitteen vaihdettavuus	Suojausluokka (I,II,III)	IK-Luokka
i-Valo 6242. V3 MT-400W syvästeilijä	IP64	14kg	Vaihdettavissa	I	IK07
i-Valo 6242. V3 MT-315W syvästeilijä	IP64	14kg	Vaihdettavissa	I	IK07
i-Valo DORA+	IP64	8,3kg	Ei	I	Ei testattu
SNEP-Linear SI	IP65	4,8kg	Ei	I	IK08
GREENLED Sigma	IP65	7kg	Ei	I	IK07
EASYLED Pro 6x	IP66	6,1kg	Ei	I	IK08

15 ENERGIANSÄÄSTÖLASKENTA

Ohessa taulukko 10, jossa on laskettu eri valaistusratkaisujen energiansäästö suhteessa vanhaan valaisimeen. Taulukossa on huomioitu valaisimien verkosta ottama ottoteho, joka on suurempi kuin valaisin valmistajien ilmoittama nimellisteho. Siinä on myös ohjeellisesti laskettu valaistuksen kokonaan sammuttamisen säästöjä 54 päivän ajalta vuodessa, jolloin tehdas olisi seisokissa eikä sinne tehtäisi huoltotoimenpiteitä. Taulukossa ei ole huomioitu Dali-ohjauksen tuomia lisäsäästöjä, mahdollisia tilauskannan muutoksia eikä tilannekohtaisia valaistuksen ohjauksia.

TAULUKKO 10. Energiansäästölaskelmat

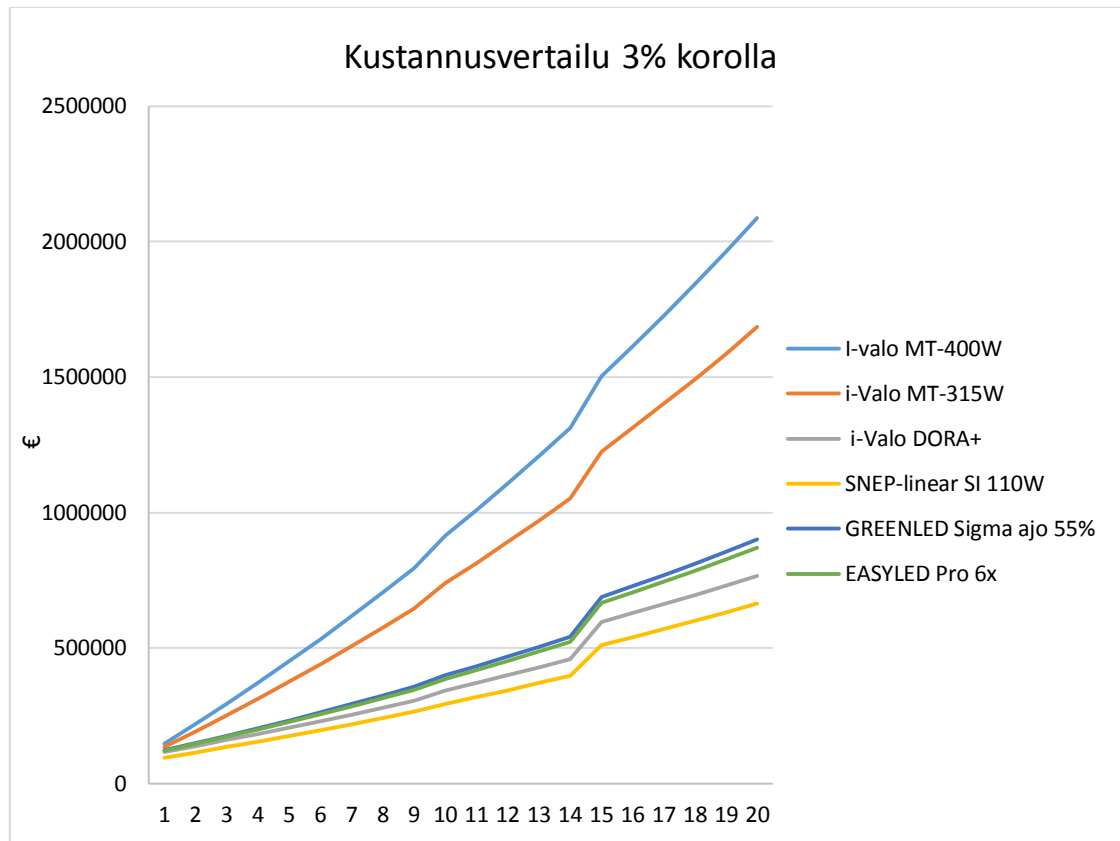
	i-Valo MT-400W	i-Valo MT-315W	i-Valo DORA+	SNEP linear SI 110W	GREENLED Sigma ajo 55%	EASYLED Pro 6x
365pv	0 %/a	21 %/a	71 %/a	74 %/a	64 %/a	65 %/a
365-54pv	5 %/a	25 %/a	73 %/a	75 %/a	66 %/a	67 %/a

Taulukon suuret energiansäästöt selittyvät osin sillä, että vanha monimetalli-syväsiteili-
lijävalaistus on alun perin suunniteltu 1000 luxiin, kun se nykyisin 20 vuoden jälkeen
on vain 300 - 350 luxia alueella. Uusi valaistus suunniteltiin siten pitkäikäisesti 500 lx,
koska sen nähdään olevan alueella riittävä.

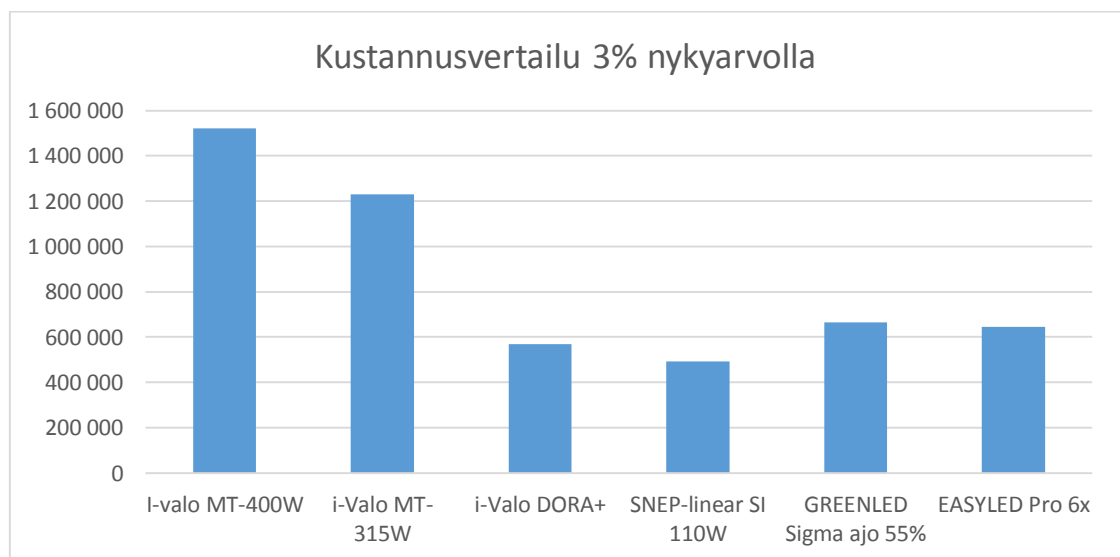
16 KUSTANNUSVERTAILU JA TAKAISINMAKSUAIKA

Kustannusvertailua ja takaisinmaksuaikaa tarkasteltiin, jotta voitaisiin vertailla eri valaisimille keskenään. Kaaviossa 1 on kustannusvertailu 3 % korolla kahdenkymmenen vuoden ajalle, jossa on otettu huomioon valaisimien vuosittainen sähkönkulutus, investointikulut (ilman lisämateriaali kuluja) ja mahdolliset huoltokustannukset. Kaaviosta 2 nähdään kustannusvertailu 3 % nykyarvolla.

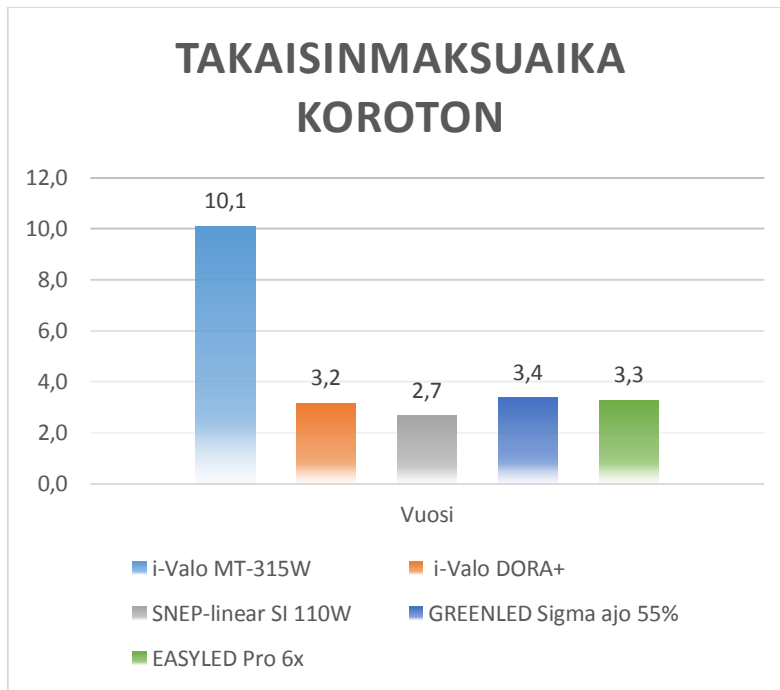
Takaisinmaksuaikaa on verrattu vanhaan valaistukseen, jossa on huomioitu myös huolto- ja korjauskustannukset. Takaisinmaksuajassa suurimpana vaikuttavana tekijänä on valaisimien tuoma energiansäästö. Investointikustannukset ovat hyvin pienessä osassa. Kaaviosta 3 nähdään valaisimien takaisinmaksuaika ilman korkoa ja kaaviosta 4 vuotuisesta energiansäästöstä diskonttaamalla 6 % laskettu takaisinmaksuaika.



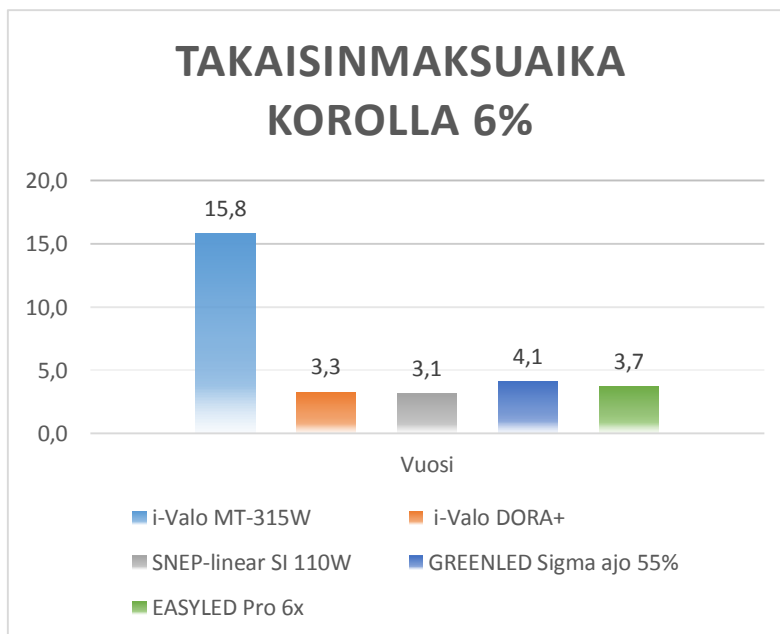
KAAVIO 1. Kustannusvertailu 3 % korolla



KAAVIO 2. Kustannusvertailu 3% nykyarvolla



KAAVIO 3. Takaisinmaksuaika ilman korkoa



KAAVIO 4. Takaisinmaksuaika 6 %:n korolla

17 TULOKSET

Työn tuloksien perusteella Led-valaistusjärjestelmä on energiatehokkain valaistusratkaisu toteuttaa valaistussaneeraus Suolahden Metsä Woodin vaneritehtaalte. Päädyin ehdottamaan, että koivuvaneritehtaan osaan tulitisiin asentamaan valaisinmalli (i-Valo Dora+ DO40-M0400-DJ). i-Valon Dora+-malli on kohteeseen kaikkein kustannus ja energiatehokkain vaihtoehto ja sen valotehokkuus vertailluista malleista on paras.

Yhdessä päädyimme vielä tutkimaan Led-valaisinmalleja tarkemmin tähän kohteeseen. Koska vertailluilla valaisimilla emme näe, että päästäisiin tarpeeksi suureen valaistusvoimakkuuteen valaisimien likaantuessa vuosien saatossa (pois lukien Greenled Sigma). Sigman Ta-luokka ei riitä kohteeseen, jolloin sen valotehoa säädettäisiin 55 % tuoden lisäystä sen elinikään vaativassa olosuhteessa.

Led-valaistuksen ohjausjärjestelmäksi valitsimme Dali-järjestelmän, joka toteutetaan erilliskaapelointina ja osa reitittimistä tullaan asentamaan erillisiin kenttäkoteloihin tehdashalliin ja osa sähkökeskukseen. Reitittimet yhdistetään keskenään Ethernet-kaapeloinnilla.

18 POHDINTA

Led-valaisimet ovat kehittyneet lähivuosien aikana isoin harppauksin eteenpäin ja ovat nykyään energiatehokkain valaistusratkaisu. Myös Led-valaisimien liitäntälaitteet ja Led-moduulit ovat kehittyneet kestävimmiksi, ja ne ovat valaistuksen ohjausominaisuuksiltaan hyvin monipuolisia. Haasteita aiheutti etsiä oikeanlainen Led-valaisintyyppi, joka sopi vaneritehtaan vaativiin olosuhteisiin, ettei valaisimen päälle kertyisi pölyä ja se kestäisi ympäristön korkeaa kuumuutta. Näin karsiutui pois paljon vaihtoehtoja, jotka olisivat olleet hyviä normaaleissa olosuhteissa teollisuushallissa.

Valaistuksen ohjausjärjestelmässä päädyttiin Dali-ohjausjärjestelmään. Dali-järjestelmä vastasi tehdashallin tarpeisiin sen monipuolisuuden, laajennettavuuden ja tulevaisuuden näkymää silmällä pitäen.

Työ opetti Led-valaisimien tärkeiden arvojen vertailua. Myös kokemusta tuli DIALux-ohjelmalla valaistussuunnitelmien tärkeiden kertoimien ja arvojen vertailusta. Kustannuslaskelmien perusteella sain mielenkiintoisia tuloksia, huomattavien säästöjen suhteen. Johon vaikuttaa hyvin paljon, että vanhat valaisimet tulisi myös uusia kokonaan, koska ne ovat teknisesti huonossa kunnossa.

LÄHTEET

Alpilux 2016. Energiatehokkuus. Www-dokumentti.

<http://www.alppilux.fi/fi/energiatehokkuus/energiatehokkuus>

Ei päivitystietoa. Luettu 5.4.2016.

Alpilux 2016. Direktiivit ja määräykset. Www-dokumentti.

<http://www.alppilux.fi/fi/direktiivit-ja-maaraykset/direktiivit-ja-maaraykset>

Ei päivitystietoa. Luettu 4.4.2016.

Easyled 2015. Valaisin Pro x. Www-dokumentti.

http://www.easyled.fi/sites/default/files/pro_series_fi_0.pdf

1.2.2015. Luettu 26.5.2016.

Ensto 2012. Dali-Standard. Www-dokumentti.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak->

[sot/0705016/1228387313247/1228466781352/1231503046191/1231503057256.html](http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228466781352/1231503046191/1231503057256.html)

5.2.2012. Luettu 13.4.2016.

Ensto 2012. Heijastumissuhde. Www-dokumentti.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak->

[sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398163914.html](http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398163914.html)

5.7.2012. Luettu 2.5.2016.

Ensto 2012. SFS 12464-1 Vaatimustaulukko. Www-dokumentti.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak->

[sot/0705016/1228387313247/1228462209986/1228462257834/1236345205406.html](http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228462209986/1228462257834/1236345205406.html)

5.2.2012. Luettu 2.5.2016.

Fagerkullat 2009. Valaistussuunnittelijan käsikirja. Www-dokumentti.

http://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_fi_09.pdf

18.9.2013. Luettu 28.4.2016.

Glamox 2016. Led-elinikä. Www-dokumentti.

<http://glamox.com/fi/ledien-elinik1>

Ei päivitystietoa. Luettu 13.4.2016.

Greenled 2016. Sigma valaisin. Www-dokumentti.

<http://www.greenled.fi/valaisimet/sigma.html>

Ei päivitystietoa. Luettu 24.5.2016.

i-Valo 2016. DORA valaisin perhe. www-dokumentti.

http://www.i-valo.com/verkkokauppa/fin/syvasateilija_regular-p-245-10/

Ei päivitystietoa. Luettu 9.5.2016.

i-Valo 2016. Syväsiteilijä. Www-dokumentti.

http://www.i-valo.com/verkkokauppa/fin/syvasateilija_regular-p-245-10/

Ei päivitystietoa. Luettu 30.3.2016.

Metsä Group 2016. Metsä Group. Www-dokumentti.

<http://www.metsagroup.com/fi/yhtio/Pages/default.aspx>

Ei päivitystietoa. Luettu 30.3.2016.

Metsä Wood 2015. Metsä Wood. Www-dokumentti.

<http://www.metsawood.com/fi/yritys>

Ei päivitystietoa. Luettu 30.3.2016.

Purso Lighting Systems 2016. SNEP-Linear SI Tuotetiedot. Www-dokumentti.

http://www.snep.fi/files/1714/5441/1128/Linear_SI_Datasheet_2_2016.pdf

Päivitetty 2.2.2016. Luettu 31.3.2016.

Purso Oy 2016. SNEP-valaistusjärjestelmä. Www-dokumentti.

<http://www.snep.fi/fi/ratkaisut/teollisuus/>

Ei päivitystietoa. Luettu 31.3.2016.

Schneider Oy 2016. Kytkenävirtapiikki. Www-dokumentti.

http://www.schneider-electric.fi/finland/fi/news_homepage/uutisnaytto.page?c_file-path=/templatedata/Content/News/data/fi/local/sahkonjakelu/general_information/2016/02/20160223_ratkaisu_led_valaistuksen_aiheuttamiin_katkaisijoiden_laukeamisiin.xml

Ei päivitystietoa. Luettu 16.5.2016.

Schneider Oy 2016. Modulikontaktori. Www-dokumentti.

<http://www.schneider-electric.com/en/product-image/206076-ict>

Ei päivitystietoa. Luettu 16.5.2016.

ST-kortti 57.45 2004. Valaisin valinnan perusteet Www-dokumentti.

<https://severi.sahkoinfo.fi/item/667?search=57.45>

15.6.2004 Luettu 11.5.2016.

ST-kortti 57.52 2008. Led-Valaistusjärjestelmät Www-dokumentti.

<https://severi.sahkoinfo.fi/item/3152?search=ST+57.52>

15.5.2008 Luettu 11.5.2016.

ST-kortti 58.04 2013. Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Www-dokumentti. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/672?search=st+58.04>

21.8.2013 Luettu 2.5.2016.

ST-kortti 58.32 2004. Valaistuksen ohjaus. Www-dokumentti.

<https://severi.sahkoinfo.fi/item/672?search=st+58.04>

15.9.2004 Luettu 12.5.2016.

Suomen Jääkiekkoliitto Ry, Jääkiekon SM-liiga Oy, Opetus- ja kulttuuriministeriö 2014. Jäähallien valaistusohje. Www-dokumentti

<http://www.finhockey.fi/info/jaahallit/>

Ei päivitystietoa. Luettu 28.4.2016.

TAMK 2012. Dali-järjestelmä opintomateriaali. Www-dokumentti.

http://www.oamk.fi/~kurki/Valaistustekniikka/DALI_teorja_joulu2014.pdf

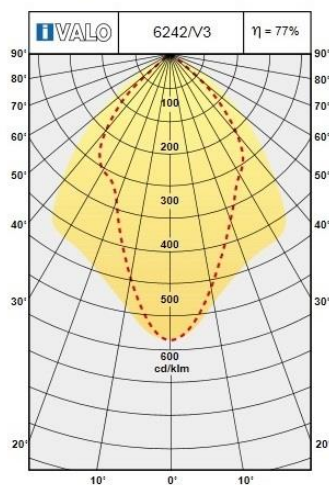
11.4.2012. Luettu 15.5.2016.

Valokas, Valovirta lm. Www-dokumentti

<http://valokas.fi/fi/faq/84-lumen-lm-mikae-ihmeen-lukema-se-on7>

10.5.2016. Luettu 10.5.2016.

I-Valo 6242.V3 Tekniset tiedot



MT-400 W

Ta-luokka min/max C°:	-30°C +45°C
Kotelointiluokka:	IP64
Suojausluokka:	I
IK-luokka:	IK07
Valonlähde:	ST/MT 1x400W E40
Liitäntä:	Ruuviliitin -0- 5x2,5 mm2
Jännite:	230 V
Taajuus:	50 Hz
Himmennettävvyys:	Ei
Palamisvirta:	2,2 A
Syttymisvirta:	3,6 A
Valaisimen D-luokka:	D
Valaisimen tehokerroin:	≥0.9
Häikäisysoja/optiikka/kupu:	Karkaistu tasolasi
Runkomateriaali:	Kirkaspintainen ja epoksinnoitettu alumiini
Asennustapa:	Pinta
Sertifikaatit:	CE ENEC GOST
Väri:	RAL7040
Paino:	14 kg
Valonjako:	Leveä

